TEORIA MATEMATICA

DELLA

PILA DI VOLTA

E

TEORIA ELETTRO-DINAMICA D'AMPÈRE

TRATTATO

Di Gius.e M.a Paladino

DELLA COMPAGNIA DI GESÙ

NAPOLI

STAMPERIA E CARTIERE DEL FIBRENO

Strada Trinità Maggiore N° 26

1842

TEORIA MATEMATICA

DELLA

PILA DI VOLTA

1. Dopo le sì numerose sperienze prese dal Volta (1) a confermare che l'elettrico eccitato ne' fenomeni galvanici era dovuto al solo contatto di conduttori, si studiò questo gran fisico di rendere più facili ad osservarsi e maggiori i segni elettrici prodotti per occasione del contatto de'metalli senza l'intervento d'alcuna sostanza animale. Tentò egli da prima d'ingrandire questi segni elettrici col moltiplicare il numero de' metalli a contatto; ma furono fallite le sue speranze. Imperocchè avendo l'una all'altra sovrapposte più coppie formate alternamente d'un disco di rame o argento ed uno di zinco, osservò che la tensione el.ª della seconda coppia era uguale a quella della prima, la tensione della terza a quella della seconda, e così fino all'ultima coppia che ancor essa mostrava tensione el.ª del tutto uguale a quella della prima; sicchè in tal guisa s'otteneva il medesimo effetto che prodotto avrebbe una sola di queste coppie. La ragione

(1) V. Volta op. tom. 2. par. 2.

di tutto ciò nella ipotesi del Volta facilmente si comprende. Infatti si chiami a la differenza di tensione el.ª che il primo zinco prende a contatto del primo rame, che per maggior semplicità si supponga essere in communicazione colla terra; si avrà in questa ipotesi la tensione dello zinco $= a$ e quella del rame $= o$. Si sovrapponga allo zinco un altro disco di rame con tensione $= o$: pel contatto di questo collo zinco inferiore non si svilupperà elettrico di alcuna sorte: imperciocchè avendo già lo zinco quella differenza di tensione elettrica, che pel contatto col rame è capace di ricevere e ritenere, ricevuta che l'abbia, quantunque tocchi un conduttore, niente cederà alla nuova lamina o da essa riceverà; mentre il cedere suppone di aver già superato quella differenza di tensione elettrica, oltre alla quale non si accumula più elettricità nello zinco pel contatto del rame di tensione $= o$, e il ricevere suppone di non avere ancora detta differenza di tensione: contro l'ipotesi l'uno e l'altro. Ritiene però lo zinco il suo elettrico acquistato; conciossiachè agendo quì la forza elettro-motrice, per essa lo zinco nulla dà al secondo rame a contatto e niente da lui riceve pel ragionamento testè fatto. Che se a questo secondo disco di rame sovrapponghiamo un altro di zinco, ad occasione del loro mutuo contatto ecciterassi la corrente elettrica e nel secondo zinco passerà tanto di elettrico dal secondo rame, che la lor differenza di tensione sia $= a$; lo che renderà il secondo rame negativo, mentre dà del suo. Trovandosi ora il primo zinco avere eccesso di tensione sul secondo rame più di quello che per la forza elettro-motrice può ritenere a contatto del medesimo, gli dovrà cedere del suo elettrico sovrabbondante; lo che farà mutare la differenza di tensione dovuta

alla forza elettro-motrice nelle due lamine di zinco rispetto a quelle di rame. Vi sarà dunque un nuovo passaggio di elettricità da rame a zinco, ma sino a tanto che amendue gli elementi siensi ridotti a quella differenza di tensione el.[a] che suole aver luogo fra rame e zinco a contatto. Or essendo la tensione del primo rame$=o$ per essere in comunicazione colla terra, dovremo avere

$$1. \begin{cases} R = o \\ Z = a \end{cases} \qquad 2. \begin{cases} R' = o \\ Z' = a. \end{cases}$$

sicchè la tensione della seconda coppia è uguale a quella della prima; e così si andrebbe avanti, senza però ottenere verun aumento di tensione in una coppia riguardo all'altra. Così non avverrebbe, se il corpo messo a contatto collo zinco non fosse elettro-motore o almeno non lo fosse negativo rispetto allo zinco: l'elettrico non sarebbe più ritenuto nello zinco e passerebbe innanzi.

2. Vide anche il Volta che lo zinco a contatto col rame prendeva sempre un determinato eccesso di tensione el.[a] e così di altri corpi diversi in elettrotismo; e dedusse lo stesso dover avvenire qualunque fosse il loro stato elettrico: legge dimostrata di poi direttamente da Coulomb (1) col mezzo della bilancia di torsione. Pensò dunque che se l'elettrico dello zinco della prima coppia passasse al rame della seconda; lo zinco di questo nel prendere rispetto al suo rame a contatto lo stesso eccesso di tensione el.[a] che ha l'altro zinco rispetto al primo rame, acquisterebbe una tensione maggiore di quella del primo zinco. Lo stesso avverrebbe nelle altre che mano mano alla seconda coppia si sovrapponessero. Adoperando dunque per intermedî delle coppie metalliche corpi nè coibenti nè elet-

(1) Biot. precis elem. de ph. L. IV. C. XV.

tro-motori nel modo già detto, potrebbe aversi aumento di tensione el.a coll' aumentar le coppie elettro-motrici, ad esempio rame e zinco. Or questo ottenne il Volta nel seguente modo.

3. Avendo egli osservato che saldando per la loro estremità una lastra di rame ad una di zinco, e messo lo zinco a contatto del condensatore anch' esso di rame non si sviluppava elettricità di veruna sorte; ma che un panno o cartone ben inzuppato di un qualche liquor deferente messo tra il condensatore e lo zinco della predetta coppia trasmetteva l' elettrico da questo a quello, pensò che dovesse trasmetterlo ancora da una ad altra coppia metallica: nè s' ingannò. Sopra un disco d' argento non isolato poneva un altro di zinco, sopra questo un disco di cartone inzuppato in liquor deferente, quindi un altro disco d' argento e poi un secondo di zinco. Faceva comunicar questo col condensatore e otteneva una tensione doppia di quella che aveva da una sola coppia: e generalmente parlando osservò potersi stabilire come legge constante (1) che la tensione el.a cresce col numero delle coppie metalliche. In tal guisa congiungendo un certo numero di coppie di due metalli eterogenei e. g. argento e zinco, o rame e zinco sempre con lo stess' ordine e delle stesse dimensioni, e sovrapponendo ad ogni coppia un pezzo di cartone o di panno inzuppato in liquor deferente, formò il più mirabile e il più fecondo degli stromenti che chiamò elettro-motore a cui la riconoscenza de' fisici ha dato il nome di *pila di Volta*. Pressochè tutti i rami della scienza naturale hanno ricevuto e ricevono tuttodì nuova luce e cospicui incrementi mercè questa invenzione, di cui il cel. Arago non ha dubitato pronunciare che

(1) Volta l. c. p. 187.

dessa è quanto alla singolarità degli effetti il più maraviglioso strumento che gli uomini abbiano giammai inventato, senza eccettuare nè il teloscopio nè la macchina a vapore. Ciascuna coppia dell'elettro-motore si chiama *elemento voltaico*, il quale, come è noto, può esser formato da due metalli eterogenei almeno nella superficie, da un acido ed un metallo che lo intacchi ec. Un elemento voltaico può esser formato ancora da tre corpi eterogenei in elettrotismo, come ad esempio avviene in alcune pile Zamboniane, in cui i tre corpi eterogenei sono ossido di manganese, stagno e solfato di zinco. Nell'esporre però la teoria matematica dell' elettro-motore supporremo ciascun elemento formato al più di tre corpi diversi in elettrotismo, indicando l'elettro-negativo con la lettera N e l'elettro-positivo con la P: chè facilmente s'intende come ad un maggior numero di corpi eterogenei a contatto estender si debba. Ci limiteremo ancora a cercar solo la legge degli sbilanci elettrici che hanno luogo nella pila fra i diversi corpi eterogenei a contatto; onde questa teoria comprenderà lo stato elettro-statico della pila di Volta, e non già l' elettro-dinamico che risguarda le correnti.

4. Dalle cose ora dette si rileva che il conduttor umido intermedio fra ciascun elemento e l' altro riduceva ad ugual tensione le due lamine di rame e zinco, o argento e zinco fra le quali si trovava. Potrebbe però il conduttor umido essere insieme ancor esso elettro-motore: ed allora quantunque, secondo che ha il Volta osservato (1), la tensione elettrica eccitata sia d' ordinario incomparabilmente minore di quella che nasce ad occasion del contatto di due conduttori solidi; pure se la corrente è cospirante con quella eccitata da' metalli, sarà in ciascuno

(1) L. c. p. 63, 179.

di questi la tensione maggiore di quella, che sarebbe in essi stata pel solo mutuo contatto; se è contraria, sarà ne' medesimi la differenza fra le due correnti. Ma ben s' intende 1.° che se nel primo caso il conduttor umido può co' metalli a contatto costituir un elemento atto a dar incremento di elettricità nella pila, nel secondo caso non lo costituisce: 2.° che in un apparato voltaico quest' aumento o questa differenza dovrà esser costante, e quindi costante ancora la differenza di tensione de' metalli a contatto in ciascun elemento ove questo contenga gli stessi corpi disposti col medesimo ordine, e il conduttor umido supposto insieme ancor esso elettro-motore non varii. È vero che la superficie anche di uno stesso metallo può non essere omogenea in elettrotismo per la diversa lega metallica, pulitura ecc. Questa causa però sembra chiaro non solo esser varia, ma ancora indurre assai piccola modificazione nell' effetto se con qualche diligenza o mezzo si procuri di escluderla, come ad esempio sarebbe usare zinco di una stessa fusione, amalgamato ecc. Supporremo dunque queste diligenze essere adoperate: tanto più che nelle teorie generali risguardar si debbono principalmente le cause costanti per definire le leggi de' fenomeni; e delle perturbatrici che varie sieno e si escludano tanto da farle pochissimo influire, niun conto si può avere, ove un' esattezza matematica non si ricerchi nè sia necessaria, come nel presente argomento addiviene.

5. Una special considerazione de' conduttori umidi elettro-motori nella teoria matematica della pila di Volta non è necessaria, anche quando formino parte degli elementi voltaici; ma si debbono considerare come qualunque altro corpo elettro-motore a contatto con un altro etero-

geneo in elettrotismo. Potendosi dunque supporre per le cose già dette che la differenza di tensione el.ª fra un determinato corpo elettro-positivo e un determinato corpo elettro-negativo a contatto sia sempre una quantità costante, qualunque sia il grado di tensione di questo secondo (§. 2, 4): chiamata x la tensione del corpo elettro-negativo N che cominci il primo elemento di un elettromotore avente un numero n di elementi, a la differenza di tensione che qualunque ne sia la causa ha luogo fra N e il primo corpo P elettro-positivo a contatto, ed espressa ad esempio in gradi dell'elettrometro-condensatore del Volta, $\pm ka$ la differenza di tensione che medesimamente si avrebbe fra P e il terzo P' a contatto, $\pm ma$ quella similmente fra P' ed N; s'avrà generalmente

	(El. 1.°	(El. 2.°	(El. 3.°
N,	x,	$x+a\pm ka\pm ma$,	$x+2a\pm 2ka\pm 2ma$
P,	$x+a$,	$x+2a\pm ka\pm ma$,	$x+3a\pm 1ka\pm 2ma$
P′,	$x+a\pm ka$,	$x+2a\pm 2ka\pm ma$,	$x+3a\pm 3ka\pm 2ma$

(El. 4.°	....	(El. n.°
$x+3a\pm 3ka\pm 3ma$	...,	$x+(n-1)a\pm(n-1)ak\pm(n-1)am$
$x+4a\pm 3ka+3ma$	...,	$x+na\pm(n-1)ak\pm(n-1)am$
$x+4a\pm 4ka\pm 3ma$	...,	$x+na\pm nak\pm(n-1)am$

o sia

	(El. 1.°	(El. 2.°	(El. 3.°
N,	x,	$x+a(1\pm k\pm m)$,	$x+2a(1\pm k\pm m)$,
P,	$x+a$,	$x+a+a(1\pm k\pm m)$,	$x+a+$ $2a(1\pm k\pm m)$,
P′,	$x+a(1\pm k)$,	$x+a(1\pm k)+a(1\pm k\pm m)$,	$x+a(1\pm k)+$ $2a(1\pm k\pm m)$,

(El. 4.°	....	(El. n.°
$x+3a(1\pm k\pm m)$,		$\ldots,x+(n-1)a(1\pm k\pm m)$
$x+a+3a(1\pm k\pm m)$,		$\ldots,x+a+(n-1)a(1\pm k\pm m)$
$x+a(1\pm k)+3a(1\pm k\pm m)$,		$\ldots,x+a(1\pm k)+(n\text{-}1)a(1\pm k\pm m)$

In ciascuna di queste serie la prima differenza costante è

$$a(1\pm k\pm m).$$

6. Se P' non è sensibilmente elettro-motore, ma solo trasmette l'elettrico da una coppia all'altra fra le quali è a contatto, senza indebolimento alcuno di elettricità almeno sensibile; si avrà $k, m=0$ e le serie proposte si ridurranno alle seguenti pe' soli corpi elettro-motori N, P

$$\begin{array}{llllll} & \text{(El. 1.°} & \text{(El. 2.°} & \text{(El. 3.°.....} & \text{(El.}(n-1) & \text{(El. n.°} \\ (\alpha)\left\{\begin{array}{l} \\ \\ \end{array}\right. \!\!\!\!\!& \begin{array}{l} N,\ x, \\ P,\ x+a, \end{array} & \begin{array}{l} x+a, \\ x+2a, \end{array} & \begin{array}{l} x+2a\ldots. \\ x+3a\ldots. \end{array} & \begin{array}{l} x+(n-2)a, \\ x+(n-1)a, \end{array} & \begin{array}{l} x+(n-1)a \\ x+na. \end{array} \end{array}$$

Queste serie (α) risguardano quelle pile voltaiche nelle quasi si adopera per conduttor umido alcool, acqua marina, semplice acqua distillata, di pozzo o contenente poca quantità di sali, di alcali, di acidi con elementi rame e zinco, argento e zinco ecc. in cui per le sperienze di Volta, Marianini (1) ed altri si verificano le proposte condizioni. La prima lamina degli N e l'ultima de' P chiamansi poli; e l'uno negativo, positivo l'altro.

7. Alla considerazion di queste sole che sono le comunemente adoperate, limitando il rimanente della teoria, dalle progressioni (α) apertamente si deduce :

1.° Le tensioni di ciascun corpo formare evidentemente due progressioni aritmetiche una per l'elettro-negativo l'altra per l'elettro-positivo, in ognuna delle quali la prima differenza costante è $=a$:

(1) Volta l. c. p. 158, 179, 191. Marianini mem. 2 e 6 sulla teor. degli elettrom. volt.

2.° La tensione elettrica de' varii elementi voltaici formare similmente una progressione aritmetica, la cui prima differenza costante è$=2a$. Ciò appare chiaramente dalle due serie premesse; poichè prendendo la somma delle tensioni el.^{e} in ciascun elemento si ha

$$2x+a, 2x+3a, 2x+5a\ldots$$

serie aritmetica a prima differenza costante $=2a$.

3.° Prendendo le somme di ciascuna delle serie (α) si ha per la somma della prima $s=\frac{1}{2}(2nx+an^2-an)$ per l'altra $s'=\frac{1}{2}(2nx+an^2+an)$ e quindi $s+s'=S$ $=2nx+an^2$ (α') somma dell'intera tension della pila.

8. Queste cose hanno luogo, qualunque sia x. Ora 1.° supponiamo il polo N in comunicazione con la terra: si avrà in questa ipotesi $x=o$ cioè il polo N nello stato naturale. Quindi è che (α') darà $S=an^2$ somma dell'intera tension della pila, e le due progressioni (α) diverranno

	(El. 1.°	(El. 2.°	(El. 3.°	(El. $(n-1)$	(El. n.°
N.	a(0,	1,	2,......	$n-2$,	$n-1$)
P.	a(1,	2,	3,......	$n-1$,	n,)

serie positiva de' numeri naturali moltiplicata per a; dalla quale si rende manifesto che la tensione positiva è sempre crescente di un eccesso $=a$ in ciascuna lamina dell' eletro-motore sino all' ultima che ha una tensione n.^{pla} della prima elettro-positiva. 2.° Se il polo P è in comunicazione colla terra, sarà $x+an=o$ nella seconda progressione (α) e in conseguenza $x=-an$. Dunque s'avrà similmente da (α') $S=-an^2$, e da (α) si dedurrà

	(El. 1.°	(El. 2.°	(El. 3.°....	(El. $(n-1)$	(El. n.°
N,	$a(-n$,	$-n+1$,	$-n+2$,....	-2,	-1)
P,	$a(-n+1$,	$-n+2$,	$-n+3$,....	-1,	0)

serie negativa di numeri naturali moltiplicata per a.

Qui, come ognun vede, si ha per l'elettro-negativo la serie inversa di quella che si avea per l'elettro-positivo, quando il polo *N* comunicava con la terra, ma negativa; e per l'elettro-positivo l'inversa di quella che si avea per l'elettro-negativo, similmente negativa. La numerazion degli elementi è cominciata sempre dal polo *N*.

9. Or si ponga isolata in entrambi i poli la pila voltaica con un numero *n* di elementi: Accumulandosi l'elettricità nelle lamine superiori a spese dell'elettrico naturale delle inferiori, quelle acquisteranno quando perdono queste; perciò la somma delle tensioni el.^{e} positive sarà uguale a quella delle negative presa con segno contrario, e la somma di entrambe$=o$. Avremo dunque (§. 7, 3.°) $S=2nx+an^2=o$, e quindi $x=-\frac{1}{2}an$ pel polo N, ed $\frac{1}{2}an$ per la tensione del polo P (§. 6): cioè i due poli hanno tensione uguale alla metà del numero degli elementi moltiplicata per la differenza costante, e con segno contrario. Questo valore di x sostituito nelle progressioni (α) le rende come segue:

$$\left.\begin{array}{l} \text{N}\,,\ a(-\frac{1}{2}n,\quad -\frac{1}{2}n+1,-\frac{1}{2}n+2\ldots\ldots\frac{1}{2}n-2,\frac{1}{2}n-1) \\ \text{P}\,,\ a(-\frac{1}{2}n+1,-\frac{1}{2}n+2,-\frac{1}{2}n+3\ldots\ldots\frac{1}{2}n-1,\frac{1}{2}n) \end{array}\right\}\ (\alpha'')$$

10. Se prendasi la differenza fra le tensioni de' due poli, sia o no la pila isolata o comunicante alla terra con uno de' medesimi, si troverà questa differenza sempre$=an$. Da ciò segue che messo in comunicazione l'un polo coll'altro per mezzo di un corpo conduttore, che per ciò si dice *rooforo*, si ecciterà in entrambi i casi una corrente di ugual prontezza dal polo positivo al negativo della pila, se solo siasi mutata la condizione dell'isolamento di uno o di entrambi i poli. Chiuso però il circuito voltaico comincia a scemare la tension dell'elettromotore, come osservò il Marianini, per le variazioni in

elettrotismo che soffrono i metalli nell' essere traversati da una corrente elettrica; lo che niente è contrario all'esposta teoria. Nè altra cagione sembra più verisimile. Di fatti dal riacquistare che esso fa la primiera tensione dentro certo tempo, interrompendosi la comunicazione fra i poli, sembra manifesto quello scemamento non avvenire per l'ossidazion de'metalli, la quale con l'aprirsi del circuito voltaico non si distrugge.

11. Si possono ora diffinire le seguenti questioni:

1.° Data la differenza di tensione a del primo corpo elettro-positivo a contatto, col numero degli elementi, si determina facilmente per le formole precedenti (§. 8, 9) la tensione sì di ciascuna parte dell' elettro-motore, che del tutto rappresentato dalle somme.

2.° Data la tensione di qualche parte dell'elettromotore col numero degli elementi, si conosce la quantità a: così supposto $n=8$ e la tensione ad esempio del polo $P=12.°$ dell' elettrometro-condensatore del Volta in una pila isolata con ambi i poli, si ha (§. 9) $12.°=\frac{1}{2}8a$, e quindi $a=3.°$ differenza di tensione el.[a] fra i corpi eterogenei a contatto dell'elettro-motore; la quale per le cose già dette al §. 2.° è la stessa in qualunque elemento della pila. Variando però l'elettrotismo de'metalli a contatto sì per l'ossidazione che per l'azione delle correnti voltaiche (§. 10) e più o meno ancora secondo la diversa qualità e conducibilità de'liquidi adoperati (1) è chiaro dover anche variare la quantità a in uno stesso elettro-motore. Quindi è che il valore trovato di a corrisponde al momento in cui si esplorò la tension di quella parte dell' elettro-motore che servì a determinare il valore suddetto. Di più la debole facoltà conduttrice de' liquidi interiacenti alle

(1) Marianini mem.[e] di fisica sperim. anno primo fascic. 2.

coppie metalliche, l'imperfetto isolamento de'poli, il diverso stato igrometrico e termometrico dell'aria che la renda più o meno isolante, come possono talvolta far variare irregolarmente la tension della pila, così possono render impossibile il determinare esattamente la quantità a con l'indicato metodo. Si può sempre però, con l'esplorare in varie parti la tension della pila, ottenere un valor medio di a che si può supporre costante nella medesima.

3.° Data la tensione el.ª del corpo elettro-negativo o elettro-positivo del primo elemento voltaico con la differenza costante a, può determinarsi quella di un altro qualunque della serie corrispondente per la nota formola delle progressioni aritmetiche $\omega = A + d(m-1)$, in cui ω è il termine richiesto della serie, A il primo, d la differenza, ed $(m-1)$ il numero de' termini che precedono ω. Lo stesso s'intenda intorno alla tensione di un qualunque elemento che si voglia conoscere. Si avrà dunque per la tensione el.ª di un qualsivoglia termine delle serie degli N, $\omega = x + a(m-1)$, per quella di P, $\omega' = x + a + a(m' - 1) = x + a m'$ essendo in entrambe $d = a$ (§. 7, 1.°): finalmente per quella degli elementi, nella serie de'quali $d = 2a$ (§. 7, 2.°), $\omega'' = 2x + a + 2a(m'' - 1) = 2x + a(2m'' - 1)$.

4.° Se nella pila isolata con entrambi i poli si cerchino le tensioni di due lamine metalliche una elettro-positiva, l'altra elettro-negativa equidistanti dagli estremi, si trovano essere uguali e con segno contrario (§. 9, α'').

5.° Essendo $= a$ la differenza di tensione el.ª fra i corpi eterogenei a contatto che costituiscono gli elementi, e la tensione nella pila isolata con ambi i poli passando dal negativo al positivo, potrà essere in qualche parte

della pila $=o$. Si determini dunque se in essa parte trovisi o una lamina N o una P. Non si parla di elementi, poichè tra i corpi eterogenei a contatto, che costituiscono ciascun elemento voltaico dovendovi essere differenza di tensione, nessun elemento vi può essere con tensione $=o$. Limitando dunque alle sole lamine la nostra ricerca, è chiaro che questa lamina o N o P, che vi si trova, avrà la sua tensione $=o$, e però facendo $\omega, \omega'=o$ si potrà avere la soluzion del problema. Quindi è che essendo $x=-\frac{1}{2}an$ (§. 9), avremo dalla prima $m=\frac{1}{2}n+1$ per la lamina N, ed $m'=\frac{1}{2}n$ dalla seconda per la lamina P che si cerca. I due valori di m, m', sono possibili solo quando n è pari; imperciocchè in questa ipotesi $\frac{1}{2}n$, $\frac{1}{2}n+1$ corrispondono al mezzo della pila, prima venendo una lamina P con tensione $=o$ e poi un altra N colla medesima tensione nell' elemento che segue. Ma se n è impari, $\frac{1}{2}n$, $\frac{1}{2}n+1$ corrispondono a qualche sezion media delle lamine che sia allo stato naturale; lo che è falso nella pila di Volta, in cui ciascuna lamina elettrizzata non per influsso ma per altra causa (1) ha intera o tension negativa o tension positiva. Dunque solo quando il numero degli elementi è pari, alla metà della pila la tensione è $=o$, e l' intero elettro-motore si presenta come se fossero due, de'quali uno comunichi alla terra col polo P e l' altro col polo N. Con un simile ragionamento si poteva da $\omega''=o$ dedurre l'impossibilità di un elemento che si trovi con tensione $=o$; ma si è preferito lo già fatto come più semplice. Per quello poi che riguarda i conduttori umidi, avendo questi la medesima tensione che le lamine fra cui sono a contatto, quando vi saranno lamine eterogenee con tensione $=o$, anche vi sarà un

(1) Pianciani elem. lib. 4. c. 9. § 72.

conduttor umido interiacente alle medesime colla stessa tensione.

12. La teoria sin qui esposta si appoggia a'dati semplicissimi del Volta, che son tolti dall' esperienza. Era poi impossibile nel trattarla di non accennare alcuna ipotesi intorno alla causa che questi sbilanci elettrici produce fra i corpi elettro-motori a contatto. Avendo però adoperata quella del Volta solamente nella spiegazion di qualche fatto e non come dato del calcolo delle leggi che que'sbilanci elettrici seguono, non ci era necessario di entrare in niuna discussione delle varie ipotesi che vi hanno intorno all' origine dell' elettricità voltaica. Nè è mio pensiero di far nella fine quello che nel principio di questo trattato non ho voluto fare. Solo mi sia permesso di notare, che se l'ipotesi del Volta fu alquanto oscurata dalle difficoltà di de La-Rive, Faraday, Becquerel ec. dal ch. Marianini (1) fra gli altri è stata egregiamente difesa e riposta in miglior lume. Io non avrei che aggiungere di nuovo a'lavori di questo dotto fisico, che sono assai pregevoli sì per la dilicata esattezza con cui sono state condotte le sperienze, sì per lo lume che queste sperienze hanno sparso in questo ramo di fisica portato a qualche perfezione dal felice studio di questo egregio discepolo del Volta.

(1) Ved. mem.e sulla teor. degli elettro-motori.

TEORIA

ELETTRO-DINAMICA

D' AMPÈRE

Dividiamo questo trattato in tre sezioni: nella prima si parlerà della vicendevole azione delle correnti elettro-dinamiche: nella seconda dell'azione del globo terrestre sopra i conduttori voltaici: nella terza dell'azione scambievole delle correnti elettriche e delle calamite: il tutto secondo i noti pensamenti del ch. Ampère. Alla sublime analisi però, che quest' illustre geometra adopera nello sviluppo di questa teoria, sostituiremo metodi semplicissimi ed elementari che sono per chi lo volesse allo scopo di una istituzione più che sufficienti. Al medesimo autore è ancor dovuto un apparato elettro-dinamico, col mezzo del quale si rende manifesta per chiarissime esperienze la più parte de'fenomeni di cui abbiamo a trattare e che furono per lo più suo ritrovamento. Questa macchina vien rappresentata dalla fig. 1. Sopra il tavolino *gh* coverto di una vernice isolante sono disposte tutte le parti fisse dello strumento, le quali variamente si adoperano nel decorso delle sperienze: *R*, *r* sono due roofori comunicanti colla

pila, il primo col polo positivo, l'altro col negativo: K, k (*fig.* 1, 2) sono due *bascole* che col loro inclinarsi o a destra o a sinistra di chi opera, dirigono la corrente voltaica ora in un senso ora in un altro, e col tenersi orizzontali tolgono ogni corso alla medesima. Il rimanente della macchina verrà a mano a mano descritto, ove ne sia bisogno; lo che ne renderà, se m'appongo, più gradita la descrizione, mentre insieme colle parti della macchina si conoscerà l'uso delle medesime. Io non voglio lodare il merito di questo mio lavoro col mostrarlo scevero di quei difetti che per sorte accompagnino altri trattati di elettro-dinamica, o fornito di qualche pregio che essi non abbiano. Dico solamente che chi spinto da lodevol desiderio e non uso all'analisi sublime amasse conoscere questa parte così leggiadra della moderna fisica, potrebbe leggere questo trattato con qualche vantaggio.

SEZIONE I.

Vicendevole azione delle correnti elettro-dinamiche

Azioni fra correnti convergenti o parallele.

1. Due correnti elettro-dinamiche si attraggono quando s'allontanano entrambe o s'avvicinano alla retta misurante la più corta loro distanza; si respingono poi, allorchè accostandosi l'una se ne allontana l'altra.

Questo fatto è il fondamento di tutta la teoria, ed è vero tanto se le correnti sieno convergenti al medesimo piano, quanto se sieno parallele. Per l'esperienza si po-

ne il conduttore *MNOP* (*fig.* 3) sopra il tavolino *gh* in maniera che le punte *L, L, L, L* del piano che lo sostiene, entrino ne' buchi del tavolino segnati colle medesime lettere: lo stesso si faccia delle estremità *G*, *H* del conduttore che in questo modo diventa fisso. Dippiù si sospenda alle coppette *x*, *y* il conduttor (*fig.* 4) mobile intorno all'asse *xe*, in modo che *de* sia vicinissimo e convergente ad *MN*. Supponendo chi esegue queste sperienze aver la faccia rivolta alla machina dalla parte *V*, ed essersi stabilita la comunicazione metallica delle diverse parti dell' apparecchio col mezzo del mercurio versato ne' canaletti, nelle varie pozzette e coppe necessarie all'esperimento; s'inchinino le bascole entrambe a destra. Allora la corrente dal rooforo *R* passa in *A*, quindi in *C*, *C'* e in *G* donde scorre pel conduttore *MNOP* nel senso di *MN*, e pervenuta in *H* trascorre per *D'D Bc'* alla colonna *ET* e per *X*, *x* entra nel conduttor mobile che lo corre nella direzione *xabcdefghiy*. Da *y* scende per la colonna *UF*, traversa il galvanometro *tuv* che dimostra col deviar del suo ago se la corrente circola nella macchina, e per *da* perviene al polo negativo della pila. Qui le porzioni della corrente elettrica che scorre per *MN*, e *de* e che si avvicinano entrambe alla retta misurante la più corta loro distanza, si attraggono. Inclinando a sinistra la bascola *K* o *k* s'inverte la direzione della corrente in *MN*, o *de*, e però accostandosi l'una si allontana l'altra dalla retta che misura la più corta loro distanza: in questo caso si osserva ripulsione fra *MN* e *de*. Rimane dunque provata la proposizione per le correnti convergenti.

Da ciò si rende ragione dell'equilibrio stabile nel seguente conduttor mobile intorno all' asse *xd* (*fig.* 5). Questo

può essere sospeso tanto alle coppe x, y che a quelle x', y': sospeso nel primo modo, è traversato dalla corrente nel senso $x\,a\,b\,c\,d\,e\,f\,g\,h\,i\,y$ se la bascole sono inchinate k a diritta l'altra a sinistra. Or si vede questo conduttore situarsi normalmente al conduttor fisso in equilibrio stabile, il quale non si turba coll' inchinare a destra la bascola K. Sospeso poi nel secondo modo si trova nel mezzo di MN, e qualunque sia l' angolo che il suo piano formi con MN vi rimane immobile. La ragione di un tale equilibrio è la seguente. Pel modo di sospensione sì questi che gli altri conduttori mobili di cui parleremo appresso non possono concepire altri movimenti, tranne quello di rotazione intorno al loro asse, che non avrà luogo quando l' azione dell' conduttor fisso tende a indurre nel mobile due rotazioni uguali e in contrario senso. Di più queste forze sono funzioni di distanza in quanto alla grandezza dell'azione a pari quantità di corrente elettrica che agisca. Ciò premesso, nel primo modo di sospensione del conduttore (*fig.* 5) quando il medesimo è normale al piano, allora le azioni entrambe ripulsive o attrattive fra MN e cd, MN e gh secondochè le loro correnti sono dirette, sono uguali per essere ugualmente distanti cd, gh da $M\,N$ e tendono ad indurre nel conduttor mobile due rotazioni opposte; dunque vi sarà equilibrio. Lo stesso avviene fra la metà di MN e i medesimi due lati cd,gh nel secondo modo di sospensione.

Per le correnti parallele ed orizontali si adopera il conduttor mobile (*fig.* 8) situato nelle coppo x, y'. In questa posizione ab si trova parallelo ad $M\,N$ (*fig.* 3) ed alla medesima altezza, e si vedrà attratto o ripulso da MN secondo che le due correnti sono dirette nel medesimo o in contrario senso. Or si sostituisca al conduttore (*fig.* 3) quello in-

dicato dalla (*fig.* 9) in modo che le estremità *G*, *H* s'immergano nelle pozzette della machina indicate da queste medesime lettere, e per conduttor mobile si adoperi quello della (*fig.* 5) sospeso alle coppe *x*, *y*. Si osserverà similmente attrazione fra *op* e *bc* o *fg* se le correnti sono dirette nel medesimo senso; e ripulsione, se lo hanno contrarie ne' medesimi.

Nel conduttore (*fig.* 20) la corrente che lo traversa ha direzione opposta ne' due fili, e perciò mentre l'uno sarà attratto da un conduttor fisso, l'altro sarà ripulso. Quest'esperimento serve a far conoscere in parte la natura di queste azioni scambievoli. Imperocchè sia che quel conduttore presenti il suo braccio verticale *cd* al filo *op* dell'altro (*fig.* 9), sia che presenti l'orizzontale *de* allo *M N* della (*fig.* 3) allo stesso modo come nella prima sperienza, rimane sempre in riposo. Dunque le attrazioni e ripulsioni, che si manifestano fra le correnti, sono uguali quando ed uguali sono le distanze ed uguale ancor l'energia ossia la quantità della corrente: lo che è affatto conforme alla natura di queste forze.

Si sono finora adoperati conduttori rettilinei; ma avviene lo stesso facendo uso di curvilinei si fissi che mobili, di curvilinei mobili con rettilinei fissi e viceversa. Così adoperando il conduttore (*fig.* 9) fissato come nella precedente sperienza e l'altro mobile (*fig.* 10) sospeso alle coppe *x*, *y* si vedranno *op* e *bc* o *fe* attrarsi se l'elettrico in entrambi corre nella medesima direzione, e respingersi, se in contraria.

2. L'azione di un conduttor sinuoso è uguale a quella che esercita un conduttor rettilineo, il quale sia animato da ugual corrente elettrica a pari distanza. L'esperimento si fa co' conduttori (*fig.* 9, 5). Se la corrente è

diretta in un senso in *bc* e in senso contrario ne' fili *mn* e *tv*, il filo *bc* situato fra *mn* e *tv* si pone ad ugual distanza da'medesimi in equilibrio stabile: dunque è ugualmente ripulso dal conduttor sinuoso *tv* che dal rettilineo *mn*. Per conoscere questa uguaglianza si è adoperata la ripulsione, piuttosto che l'attrazione, per la difficoltà di stabilire il conduttor mobile ad ugual distanza da *mn* e *tv*. La stessa conseguenza si deduce adoperando il conduttore (*fig.* 21) come quello della (*fig.* 20). La parte sinuosa del conduttore (*fig.* 21) è corsa dall' elettrico in una direzione e la rettilinea in un'altra opposta. Ora comunque s'inverta la corrente elettrica nel conduttor fisso vicino *op* o anche *mn* (*fig.* 9), *MN* (*fig.* 3), il conduttor mobile (*fig.* 21) nessun movimento concepisce.

Questi due esperimenti servono di base al calcolo della legge matematica de'fenomeni che consideriamo. Imperocchè essendo arbitraria la forma della linea sinuosa, nulla impedisce il sostituirle un sistema di una forma qualunque terminato agli stessi punti. Non qualunque però se ne sceglie, ma quelli soltanto che possono servire al calcolo di questi fenomeni come sono un poligono, i due lati di un parallelogrammo e i tre di un parallelepipedo paralleli ad altrettanti assi ortogonali; i quali sistemi si suppongono avvivati da una corrente di pari energia a quella che si aveva, e si sostituiscono il primo ad un sistema curvilineo chiuso, come spesso useremo, gli altri due ad un elemento rettilineo o curvilineo di corrente, secondo che si considera in un piano o nello spazio. Di un altro sistema che suole sostituirsi a quello della *fig.* 21 parleremo al §. 26.

Sembra il primo sperimento di questo §. 2. essere una conseguenza della legge fondamentale già stabilita al §. 1. Imperciocchè le parti medie ed uguali del conduttor si-

nuoso *tv* (*fig.* 9) son corse dall' elettrico in contrarie direzioni fra di loro; ma le parti laterali sono corse tutte nel medesimo senso. Quindi le azioni delle prime da se si equilibrano (§. 1); ma non già quelle delle seconde. Ora la somma delle parti laterali vi dà un conduttor rettilineo. Dunque l'azione di questo conduttor sinuoso è uguale a quella che esercita un conduttor rettilineo, il quale sia animato da ugual corrente elettrica a parità di distanza. Dell'altra sperienza diremo al §. 30.

3. Per queste stesse esperienze di cui abbiam parlato al §. 1. e per altre di cui parleremo nel prosieguo di questa sezione, si fa manifesto mutarsi l'azione fra conduttori fissi e mobili del sistema in altra ugualmente contraria, qualora s'inverta la direzion della corrente o solo ne' fissi o solo ne' mobili: invertendola poi in entrambi, rimanere la medesima che quella di prima. Di quest'osservazione faremo uso nella sezione 2.ª §. 32 e segg.

Def. Si chiama corrente *terminata* quella che non si stende di là dal vertice dell' angolo che forma colla direzione di un' altra corrente, e *indefinita* se si stende di là da quel vertice.

4. Due correnti rettilinee, orizontali e indefinite che sieno mobili intorno ad un asse verticale, per la mutua loro azione si giran d' attorno al medesimo, fintantochè non diventino parallele e dirette nel medesimo senso.

Sieno AB, CD (*fig.* 1) queste due correnti, mobili intorno alla comune normale EF come ad asse. Supponendole dirette secondo che indicano le frecce, vi sarà attrazione fra AF e CE, DE e BF, e ripulsione fra AF ed ED, BF e CE (§. 1). Si l' una che l'altra azione però tende a farle rotare intorno all'asse EF. Roteranno dunque intorno ad EF fino a rendersi parallele e dirette

nel medesimo senso; nella quale posizione rimarranno per la loro azion mutua che tenderà solo ad avvicinarle nel medesimo piano; e si avvicinerebbero di fatti se la disposizion del sistema il permettesse. L'esperimento, con che provasi questo stesso, si esegue co'conduttori (*fig.* 3, 6) sospendendo il secondo nelle coppe $x' y'$ della machina, e fissando il primo come nelle altre sperienze descritte di sopra. Come debbasi adoperare per questo o altro simile esperimento, da quelli già descritti sembra manifesto. Quando le due correnti MN e de si sono rese parallele e dirette nel medesimo senso, se s'inverte la direzione della corrente in uno di questi conduttori vi avrà fra M, N e de ripulsione la quale pel modo di sospensione farà solo oscillare il conduttore (*fig.* 6.); lo che prima ridurrà de ad angolo con MN, e dipoi per le mutue azioni si vedrà il conduttor mobile rotare fino a rendersi de di nuovo parallelo a MN colle correnti dirette in entrambi nel medesimo senso.

Azione fra correnti terminate e indefinite che giacciono nel medesimo piano o in piani paralleli.

5. Una corrente *terminata* mobile in un piano orizontale intorno ad un asse che passa per una delle sue estremità, soggiaccia all'azione di una corrente fissa; indefinita, rettilinea ed orizontale posta ad una distanza dall'asse che superi la lunghezza della terminata: quest'ultima roterà in senso contrario alla direzione della indefinita se allontanasi, e nel medesimo senso se all'asse si avvicina.

Rappresenti MN la corrente indefinita ed Oa la terminata (*fig.* II.). Supponendo le direzioni delle correnti come indicano le frecce, nella posizione Oa della corrente mobile parallela ad MN, sarà Oa attratta da MN (§. 1) e però prenderà ad esempio la posizione Oa'. In questa nuova posizione convergente al-

l'indefinita sarà Oa' ripulsa dalla parte nN di MN, ma sarà attratta dalla parte nM (§. 1): e così queste due forze cospireranno a far muovere la terminata in senso contrario all' indefinita e a darle una nuova posizione Oa''. È chiaro per un simile ragionamento, che la corrente Oa prenderà successivamente le posizioni Oa''',... Oa^{iv} ... Avrà dunque un movimento continuo di rotazione in senso contrario a quello della corrente indefinita.

Se la corrente terminata all'asse si avvicina (*fig.* III) il movimento di rotazione avrà ancor luogo, ma in senso contrario al primo, cioè in quello dell'indefinita come per un ragionamento affatto simile si può render manifesto. La velocità però di rotazione in entrambi i casi non è uniforme, se non quando la indefinita è molto lontana, poichè allora la diversità della distanza non influisce sensibilmente.

Per l'esperimento si adoperano i conduttori (*fig.* 3 , 12 , 14). Il conduttore (*fig.* 3) si dispone in modo che gli estremi G, H si tuffino nelle solite pozzette, ma le punte L, L, L, L entrino ne' buchi L', L', L', L' della tavola. Facilmente s'intende la maniera di fissare il conduttore (*fig.* 12) avvertendo di non adoperare gli estremi G H della spirale, lo che s'ottiene col non metterli in comunicazione colle diverse lamine della machina. Finalmente il conduttore (*fig.* 14) si colloca sopra di S colla punta s in modo che la corona rimanga immersa nell'acqua acidula di cui è pieno il conduttore (*fig.* 12). Essendo la bascola k inclinata a destra, la corrente va dal centro alla periferia nel conduttor mobile e trasfusasi all'acqua acidula, per la lamina IO si rende al polo negativo della pila. Inclinando a sinistra la bascola k, s'inverte la direzion della corrente nel conduttor mobile e quindi il senso della rotazione nel medesimo.

6. Se la terminata fosse mobile intorno alla sua metà, il movimento continuo di rotazione non avrebbe più luogo; ma pervenuta ad essere parallela all'indefinita, dopo qualche oscillazione si troverebbe in una posizion fissa di equilibrio; poichè ciascuna metà tenderebbe, quando è parallela, a girare in senso contrario con ugual momento; quindi vi sarebbe equilibrio. Lo stesso avverrebbe e per la stessa ragione, se le terminate fossero due, ma disposte nella medesima linea retta e in modo che una si avvicini e l'altra dall'asse si allontani. Che se queste correnti terminate fossero entrambe o all'asse convergenti o divergenti dal medesimo, quantunque giacessero nella medesima linea retta, il movimento di rotazione sussisterebbe ne' medesimi sensi de' quali si è detto nel teorema. Imperciocchè avendo le correnti terminate direzioni opposte, una di esse sarebbe sempre attratta (§. 1) dall'indefinita e l'altra ripulsa; lo che determinerebbe nel sistema delle terminate una rotazione nel medesimo senso e secondo che vuole il teorema.

Cor. Se la indefinita è diretta da E. ad O. la terminata roterà da O. ad E. passando pel S., quando dall'asse dilungasi, e da E. ad O. pel S. quando all'asse si avvicina.

7. Sia la indefinita MN ad una distanza dall'asse minore della lunghezza della terminata (*fig.* IV). Vi sarà attrazione nell'angolo MaO, e ripulsione nel conseguente OaN (§ 1): queste due azioni però cospireranno a determinare in OA, che sola sia mobile, una rotazione nel senso di $MM'M''N$. Similmente vi sarà attrazione fra le parti Aa ed aN delle correnti e ripulsione fra Aa ed Ma, e quindi un altra risultante per far rotare OA in senso contrario. Si troverà dunque OA per

l' azione di MN con due momenti di rotazione contrarî fra loro; e però sarà in equilibrio, se questi saranno uguali, o roterà nel senso del più grande, se ineguali.

8. Finalmente sia la terminata posta fra due indefinite fisse α, β (*fig.* V, VI) le quali sieno corse dalla elettricità voltaica in direzione opposta e situate ad una distanza dall' asse di rotazione maggiore della lunghezza della terminata mobile, come al §. 5. La terminata sarà diretta nel medesimo senso di una delle indefinite e in senso contrario dell' altra; e però da una sarà attratta e dall' altra sarà ripulsa. Or queste due azioni determineranno una rotazione continua in OA in un medesimo senso che sarà lo stesso di quello dell' indefinita a cui s'avvicina, se la terminata va dalla periferia al centro, e in senso contrario, se dal centro è indiritta alla periferia (§. 5).

Azione fra correnti circolari e rettilinee che giacciono nel medesimo piano o in piani paralleli.

9. Una corrente terminata, mobile in uno de' suoi estremi intorno all'asse di una circolare fissa (il cui raggio sia maggiore della lunghezza della terminata) roterà in senso opposto a quello della corrente fissa, se allontanasi, e nel medesimo senso, se all' asse s' avvicina.

Conseguita da quanto si è detto nel §. 1. Imperciocchè esercitando le parti della corrente circolare più vicine alla corrente mobile un' azione più grande, che le parti opposte, la loro azione prevarrà sopra quella delle altre. Quindi è che la rotazione sarà determinata dall' azione delle parti $A'A''$, $A'A'''$ (*fig.* VII), la prima delle quali è ripulsiva (§. 1) e attrattiva la seconda; entrambe però cospiranti a far rotare OA nel senso di $Aa'a''$, cioè in senso contrario a quello della circolare nella *fig.* VII e nel medesimo senso nella *fig.* VIII. Dunque ecc. Per l' esperimento si adoperano i conduttori indicati dalle

fig. 12, 14 tuffando gli estremi della spirale nelle pozzette *G, H* della macchina.

10. È qui da avvertire 1.° che la rotazione avrà ancor luogo, se le correnti sieno in piani paralleli; poichè la risultante di rotazione essendo obbliqua, potrà sempre risolversi in due componenti, una delle quali sia parallela al piano della circolare e non passi per l'asse. Questa certamente produrrà la rotazione: la velocità però in questa supposizione sarà minore, come ognun vede. 2.° Se il centro di rotazione stà fuori dell'asse della corrente circolare, la velocità non sarà uniforme; poichè la diversità della distanza indurrà una diversità nell'energia delle azioni, la quale è una funzione di distanza. Potrebbe anch'essere, che la corrente mobile prendesse una posizione fissa di equilibrio: lo che avverrebbe, se il circolo descritto per l'estremità del conduttor mobile tagliasse la corrente circolare nelle condizioni indicate al §. 7. 3.° Se la corrente terminata fosse mobile nel suo mezzo (*fig.* IX) vi sarebbe equilibrio in qualunque posizione della medesima; poichè le azioni della corrente circolare sopra le parti uguali e vicine della corrente mobile tenderebbero ad indurvi due rotazioni uguali e in contrario senso. Non così avverrebbe se le terminate fossero due, entrambe all'asse convergenti o divergenti dal medesimo, com'è facile l'intenderlo. Finalmente nel conduttore (*fig.* 12) la corrente circolare è formata da varie spire, coverte di seta per isolare l'una dall'altra. Ciò è fatto per renderne l'azione assai più energica, come ognun vede agevolmente.

11. Se la corrente terminata *OA* è fissa nel punto *O* e mobile la circolare intorno al suo asse, roterà questa nella direzione della sua corrente quando l'elettricità

della terminata dall'asse si allontana, e in senso contrario, quando al medesimo s'avvicina. La ragione è chiara, poichè le azioni della corrente terminata fissa sulle parti più vicine della circolare, attrattiva sopra di $A'A'''$ e ripulsiva sopra di $A'A''$ (§. 1), sono entrambe cospiranti a darle un movimento di rotazione nel medesimo senso, il quale è lo stesso di quello della corrente circolare nella *fig.* VII e contrario nella *fig.* VIII; dunque ecc.

Le cose già notate nel §. precedente sopra la rotazione della terminata mobile intorno all'asse della circolare fissa si possono tutte applicare a quella della circolare mobile intorno al suo asse, supposta fissa la terminata.

12. Or la corrente rettilinea e mobile come al §. 9. sia esterna, nè più compresa nel perimetro curvilineo della circolare fissa (*fig.* X): roterà nel senso della circolare se si allontana dall'asse, e in senso opposto, se mai gli s'avvicina. Imperciocchè fra $A\ B$ ed $A\ C$, $A'B'$ ed $A'D'$ vi è attrazione, e ripulsione fra AB ed AD, $A'B'$ ed $A'C'$, l'una e l'altra però cospiranti a far rotare la terminata nel senso di $A\ C\ D$ (*fig.* X. α) ed in quello di $A'\ D'\ C'$ (*fig.* X, β): dunque ecc.

13. Il contrario succede, allorchè la terminata esterna è fissa, e girasi intorno al suo asse la circolare. Vedrai allora rotare il conduttor circolare a seconda della sua corrente, convergendo all'asse la terminata, e divergendo roterà in direzione opposta (*fig.* XI). La ragione si trae evidentemente dalle cose già dette, ed è la medesima che al §. precedente.

L'esperimento, secondo la modificazione introdottavi da Savary, si esegue col conduttore (*fig.* 15) che ha due interruzioni una in g e l'altra in at e viene tuffato nella

vaschetta dell'acqua acidula (*fig.* 11). Si può invece adoporare l'apparecchio indicato dalla (*fig.* 12) ma allora la spirale non dev'essere in communicazione colla pila: lo che si ottiene come è detto al §. 5. coll'evitar ogni comunicazione metallica fra *G*,*H* estremi della spirale e le altre parti fisse della macchina (*fig.* 1) che servono a chiudere il circuito voltaico. Se dunque nella coppa *S* (*fig.* 1) si metta il conduttor circolare (*fig.* 15); la corrente elettrica per mezzo del conduttor *Q* e della bascola *k* inchinata a diritta, pervenuta. che sia in s e corsa la corona nel senso di *a e d f*, s'irraggerà per tutti i punti della medesima all'acqua acidula e quindi alle pareti del vaso, e per mezzo della lamina *IO* al polo negativo della pila. Quì le correnti terminate son quelle che traversano l'acqua acidula, e s'allontanano come ognun vede dal conduttor circolare che prende un moto di rotazione nel senso di *fdea*, cioè contrario alla corrente che lo traversa. Se la bascola *k* s'inclina a sinistra, la corrente voltiana dall'acqua acidula passerà nella corona: e questa si muoverà nel senso di prima, che è ora quello della sua corrente, la quale traversata la corona, per la coppa *S* e pel conduttor che la sostiene, si renderà al polo negativo della pila. Qui la corrente terminata, ch'è quella dell'acqua acidula, s'avvicina al conduttor mobile. Per aver la rotazione in senso contrario a quello della corona (*fig.* 15), si adopera un conduttore costrutto diversamente dall'indicato in ciò solo che ha l'interruzione fra *a* ed *e*, non già fra *a* e *t*.

14. Quindi si ritrae, che le correnti elettriche attraversanti le acque più che mezzanamente acidulate non si differenziano nelle qualità dalle altre scorrenti pe'conduttori metallici nel circuito voltaico e però ancor esse influiscono nelle rotazioni di cui abbiam parlato a' §§. 5. e 9.

15. Una corrente terminata verticale e mobile, che si avvicini al piano di una corrente indefinita ferma ed orizontale, tende a camminare in direzion parallela, ma in senso inverso a quello dell' indefinita; e nel medesimo senso, ove se ne dilunghi.

Azione fra correnti rettilinee situate in modo che una sia normale al piano dell'altra.

Sieno AB, MN (*fig.* XII) queste due correnti e BP la più corta distanza della terminata dall'indefinita MN, dirette entrambe come inditano le frecce: l'azione fra AB ed MP sarà ripulsiva ed attrattiva fra AB ed NP (§. 1). Or si prendano due punti m, n ugualmente distanti da un punto a della terminata: se le loro azioni sopra il punto a si rappresentino per ax, ay uguali fra loro per essere $am = an$ (§. 1) e si compisca il parallelogrammo $axyz$; la diagonale az, che pe' principî di statica rappresenta la direzione e la grandezza della risultante e però determina il senso del moto, sarà parallela ad MN e diretta in senso opposto alla medesima. Questo secondo è chiaro, ma non è meno evidente il primo. Imperciocchè abbiamo l'angolo esterno $(xay) = (amP) + (ynP) = (xaz) + (yaz)$; ma $(xaz) = (yaz)$, $(amP) = (ynP)$ per essere isosceli i triangoli man, yaz; quindi sarà $2(ynP) = 2(yaz)$ e in conseguenza $(ynP) = (yaz)$: dunque az è parallela ad MN. Lo stesso s'intenda degli altri punti di AB; che però muoverassi in direzion parellela ad MN ma in senso inverso. Se la corrente AB si allontanasse da MN (*fig.* XIII), allo stesso modo si proverebbe dover prendere un movimento in direzion parallela ad MN e nel medesimo senso. Dunque ecc.

16. Un conduttor mobile indefinito ed orizontale che sia soggetto all'azione di un conduttor fermo finito e verticale, si muoverà nella stessa o contraria direzione della

sua elettricità, secondochè la corrente terminata gli s'avvicina o se n'allontana.

Questa proposizione si può dimostrare in un modo simile affatto all'adoperato nel §. precedente. Sia adunque $M'N'$ (*fig.* XIV) la corrente indefinita mobile, ad AB la terminata fissa, dirette entrambe come indicano le freccc, BO esprima la più corta distanza del punto B dalla indefinita. Vi sarà ripulsione fra AB ed $M'O$, ed attrazione fra AB e $N'O$ (§. 1.) Or si prendano due punti m', n' equidistanti, ad esempio dall'estremo B della corrente AB, ed x rappresenti la ripulsione che prova m, y l'attrazione che sperimenta n' dal medesimo. Dippiù questi due punti m' ed n' si concepiscano legati invariabilmente al punto B per mezzo di verghe rigide, come si usa nella statica, e ad esso che si consideri per poco come un punto qualunque libero al moto e non appartenente alla terminata, si trasferisca l'applicazione delle due forze x, y senza variar punto la loro intensità e direzione; sieno Bo, Br queste forze trasferite in B. Formato il parallelogrammo $Boqr$ si dedurrà facilmente come nel §. precedente, che la loro risultante Bq sarà parallela e diretta nel senso dell'indefinita nel primo caso, e in senso contrario nel secondo (*fig.* XIV, *a*). Ciò che si è detto dell'estremo, s' intenda delle altre parti della corrente terminata in quanto all' azione che esercitano sopra quelle della indefinita. Dunque tutte queste azioni attrattive e ripulsive della terminata fissa sopra le due parti OM', ON' dell'indefinita mobile si riducono ad una risultante diretta nel senso dell' indefinita, se la terminata s'avvicina al suo piano, e in senso contrario ove se ne allontani.

17. Dal §. 15 si deducono i due seguenti corollari.

1.° Se la terminata $A\,B$ è mobile intorno ad un asse fisso verticale $O\,O'$ (*fig.* XV.); il piano $A\,B\,O'\,O$ si disporrà parallelo alla direzione dell'indefinita $M\,N$, ed $A\,B$ giacerà in equilibrio stabile da quel lato dell'asse che guarda l'origine dell'indefinita o dal lato opposto (*fig.* XVI) secondochè se le avvicina o se ne allontana. 2.° Si abbiano due correnti verticali terminate e dirette nel medesimo senso (*fig.* XVII) le quali sieno situate in un piano che passi per l'asse di rotazione intorno a cui sieno esse simmetricamente disposte e mobili intorno al medesimo; rimarranno in equilibrio comunque sieno poste rispetto all' indefinita, ove questa sia molto discosta o tagli l'asse di rotazione. Imperciocchè le azioni dell'indefinita sulle terminate potendosi allora prendere per uguali, ed essendo contrarie per le opposte rotazioni che tendono ad indurre, mentre tendono a stabilire entrambe le terminate dal medesimo lato dell' asse, si distruggeranno a vicenda. .. Che se nella medesima condizione le due correnti terminate sieno dirette in senso opposto (*fig.* XVIII), il piano delle medesime situerassi parallelamente all'indefinita, ponendosi ciascuna da quel lato dell' asse che la sua direzione richiede (§. 15). Quindi è che, se l' indefinita è diretta dall' *E.* all' *O.* la verticale che le s' avvicina giacerà all'*E.* e l'altra che se ne allontana si porrà all' *O.* dell'asse.

18. Si abbia un sistema di correnti terminate orizzontali e verticali, che sieno mobili intorno ad un asse verticale e soggette all'azione di una corrente orizzontale indefinita: dalle cose già dette facilmente si potrà definire l' effetto di quest' azione. Imperciocchè 1.° sieno le terminate orizzontali dirette in senso contrario e le verticali nel medesimo senso (*fig.* XIX): è chiaro pel §. pre-

cedente che nulla sarà l'azione dell'indefinita sopra le verticali nelle stesse condizioni quivi indicate: ma le orizontali prenderanno un moto di rotazione secondochè si è detto al §. 6. 2.° Se le terminate orizontali sono dirette nel medesimo senso e le verticali in contrario fra di loro (*fig*, XX, α), il sistema prenderà una posizione fissa di equilibrio secondo le condizioni determinate nel §. precedente e nel §. 6. (*fig*. XX, β). 3.° Se il sistema delle correnti fosse disposto come nella *fig*. XXI, l'azione della corrente indefinita supposta a gran distanza si manifesterebbe solo nelle verticali. Sarebbe poi nulla sopra il sistema della *fig*. XXII, e sopra quello delle *fig*. 4, 5, 6.

19. Spesso mancandovi la condizione della gran distanza dalla corrente indefinita, i sistemi che abbiam detto trovarsi in equilibrio, non vi si troveranno, almeno in certe particolari posizioni. Sia per esempio quello della *fig*. 6. che per l'azione dell'indefinita assai più energica sopra l'orizontale inferiore *de* e sopra le adiacenti *cd*, *ef* come più vicine roterà fino a disporsi parallelo all'indefinita, e diretto secondo abbiam detto a' §§. 4, 17. In questo conduttore può anche con esperienza dimostrarsi che le verticali indicate influiscono alla rotazione. Imperciocchè se al conduttor mobile (*fig*. 6) sottomesso all'azione dell'conduttor (*fig*. 3) si sostituisce quello rappresentato dalla *fig*. 7. il quale non ha che le braccia designate per le medesime lettere *cd*, *ef* che sieno soggette all'azione del medesimo conduttor fisso, il movimento si produce nel medesimo senso di prima, quantunque con una velocità molto minore. In quello poi della (*fig*. 4.) avendo luogo il corso dell'elettricità nel senso di *x a b c d e f g h i y*, le correnti verticali *cd*, *gh* sono opposte e però tendono a dirigersi in sensi contra-

rii. Similmente le orizontali *de* , *hi* tendono a prendere movimenti contrarii a quelli delle correnti *bc*, *fg*: le rimanenti *ab*, *ef* trovandosi nella direzione dell'asse è inutile l'averne conto. Quindi il sistema dovrebbe essere in equilibrio, se tutte le parti partecipassero ad uguaglianza dell'azione dell'indefinita. Questa condizione manca nell'esperimento del §. 1. mentre il braccio *de* è più vicino al conduttor fisso (*fig.* 3) e però l'azione di *MN* nel medesimo si renderà manifesta. Finalmente il conduttore (*fig.* 17.) per l'azione del conduttore (*fig.* 3) non solo sopra di *bc* ma ancora sopra di *cd* (§. 1) si disporrà secondo abbiamo detto al §. 1, 17.

Azioni fra correnti circolari e rettilinee situate in piani normali fra di loro.

20. Una corrente circolare fissa fa girar sempre nel senso suo un conduttor parallelo al suo asse e mobile intorno al medesimo, se la corrente del conduttore si dilunga dal piano della circolare, e in senso opposto, se gli si avvicina.

Per la dimostrazione, consideriamo le sole parti del conduttor circolare più vicine all'estremità della corrente terminata, l'azione delle quali essendo più grande di quella delle parti opposte del medesimo circuito, sola prevale. Ora supponendo che le correnti sien dirette come indicano le frecce (*fig.* XXIII), prendiamo in questa parte più vicina due elementi *MN*, *NP* di corrente messi simmetricamente rispetto alla terminata *AB*, che possiamo considerare come fossero rettilinei, non solo per la natura del circolo ma ancora per quello che abbiamo detto al §. 2. e diretti entrambi nel senso della tangente del punto *N*, conforme al modo di concepire gli elementi di una curva. Quindi l'azione di *MN* sarà attrattiva e di *NP* ripulsiva, e la loro risultante sopra di un punto *B*, per esempio, della terminata sarà parallela a questa tan-

gente ed in senso contrario a quello della corrente circolare (§. 15); ciò che cagionerà nella terminata mobile una rotazione in direzione opposta al corso dell' elettrico nel conduttor fisso. Lo stesso si dica degli altri elementi di corrente circolare, a cui successivamente s'avvicina la terminata: dunque ecc. Se la corrente mobile si dilungasse dal piano della circolare, roterebbe nel senso della corrente fissa, come dal §. 15. si rende assai manifesto. Per l' esperimento si adoperano i conduttori (*fig.* 12, 13.) disposti, secondo si è veduto al §. 9.

L'inversa di questa proposizione è la medesima che al §. 16 cioè una corrente circolare volubile intorno al suo centro roterà nel senso della sua corrente per l'azione di una terminata fissa parallela al suo asse, ove questa si avvicini, e in senso contrario ove si allontani dal piano della circolare.

21. Se le correnti terminate sono due, come nella (*fig.* XXIV) dirette nel medesimo senso e parallele all'asse di rotazione; il movimento avrà ancor luogo nella stessa direzione che quando era una sola la terminata, come facilmente si vede. Ma vi avrà equilibrio, se sieno dirette in senso contrario (*fig.* XXV.) e situate simmetricamente intorno all'asse, tendendo allora le due terminate a rotare l'una in senso opposto all'altra con ugual momento, com'è manifesto per le cose già dette. È poi chiaro, non esser necessario che sia $OB < ON$.

22. Una corrente circolare volubile d'intorno ad un asse verticale per l'azione di una corrente fissa indefinita e posta in un piano orizzontale, che non tagli la corrente mobile, collocherassi in un piano parallelo alla direzione della medesima in guisa però, che quella parte della corrente circolare che le s' avvicina, giaccia dal la-

to dell' asse che guarda l' origine dell' indefinita, e al-l'opposto lato quella parte, che se n'allontana.

Si deduce dalle cose già dette. Imperciocchè come a ciascun elemento curvilineo di corrente possono sostituirsi due elementi rettilinei (§. 2.) perpendicolari fra di loro, per esempio, uno orizontale, verticale l' altro; si vede che una corrente circolare può considerarsi come un sistema di correnti orizontali e verticali dirette fra di loro in diverso senso (*fig.* XXVI). Ora se la corrente curvilinea è simmetrica intorno all' asse, tale sarà anche il sistema sostituitovi; e però conterà tanti elementi orizontali e verticali da una parte quanti dall' altra del medesimo. Dippiù da ciascun lato dell' asse le orizontali si ridurranno a due sistemi di ugual numero di correnti dirette in contrario senso. Vi sarà dunque equilibrio (§. 6) fra le medesime quando il piano ov'esse giacciono, sarà parallelo all'indefinita. Anche le verticali si divideranno in due sistemi di correnti dirette in un senso da una parte dell'asse e in contrario dall'altra parte del medesimo: poichè da una banda dell'asse la corrente discende e sale dall'altra. Ma non potendo queste rimanere equilibrate, se non solo quando il loro piano è parallelo alla corrente fissa e le verticali che le s'avvicinano giacciono da quel lato dell'asse che riguarda l'origine dell'indefinita, e le altre che se ne dilungano dalla banda opposta (§. 17): prenderà dunque l' intero sistema questa posizione fissa di equilibrio; e quindi anche la corrente circolare, che per esso vien rappresentata, si dovrà porre parallelamente all' indefinita e come si è enunciato nel teorema. Per l'esperimento si fa uso de' conduttori (*fig.* 3, 16) de' quali il secondo si sospende alle coppe $x' y'$, e il primo si fissa come nella prima esperienza.

23. Quindi si ricavano come corollari 1.° Che se l'asse di rotazione taglia l'indefinita che giace fuora della corrente circolare, il piano della corrente mobile equilibrata passerà per la direzione della fissa. 2.° Se la corrente curvilinea fosse mobile intorno ad un asse orizzontale che o tagli ad angolo retto l'indefinita ferma o almeno sia normale ad un piano verticale che passi per la medesima, seguirebbe per le stesse ragioni la corrente curvilinea dover prendere la medesima posizione di equilibrio stabile. 3.° Nella parte del conduttor curvilineo più vicina all'indefinita giacente fuora del suo perimetro la corrente mobile è diretta nel medesimo senso della fissa; e però se l'indefinita è diretta da *E.* ad *O.* tale sarà anche nella parte più vicina del conduttor curvilineo mobile, e trovandosi la corrente indefinita nell'equatore magnetico e in conseguenza normale al meridiano magnetico, anche il piano del conduttor curvilineo sarà parallelo a quell'equatore e normale allo stesso meridiano. 4.° Potrebbe il conduttor mobile esser volubile attorno ad un asse situato fuora del suo perimetro curvilineo. Allora il ramo più distante dall'asse di rotazione agirà con un momento più grande del ramo opposto e determinerà la posizione del conduttore. Se dunque nel ramo più distante la corrente si avvicina all'indefinita che va dall'*E.* all'*O.*, il sistema sarà portato all'*E.* dell'asse, e all'*O.* del medesimo, se mai se n'allontana: sempre però nelle parti più vicine la corrente sarà diretta nello stesso senso, tanto nel conduttor mobile che nel fisso. La stessa posizione prenderebbe il sistema (*fig.* XX, XXI) se fosse situato similmente rispetto all'asse. Ma il sistema (*fig.* XXVII) sarà in equilibrio per essere corso in senso opposto nelle due parti del medesimo, comunque sia po-

sto rispetto all'indefinita. 5.° Se l'indefinita mobile tagli l'asse vicino al conduttor curvilineo fisso, per l'azione delle orizzontali più vicine potrà rotare in modo da ridursi parallela e diretta nel medesimo senso (§. 4) in equilibrio stabile.

24. Dal detto a'§§. 9, 21 si può con agevolezza diffinire l'azione di una corrente circolare, fissa sopra un sistema di verticali e orizzontali girantisi intorno all'asse verticale della medesima. Il sistema (*fig.* XXVIII) roterà in senso contrario alla corrente circolare, e l'azione di questa sopra tutte le parti del sistema influirà nella rotazione. L'esperienza comprova la teoria adoperando a quest' effetto i conduttori (*fig.* 12, 13) disposti, come si è fatto vedere nel §. 9. Se le due correnti verticali fossero dirette in senso contrario il movimento di rotazione sarebbe prodotto per le sole orizzontali, mentre le altre due starebbero in equilibrio.

25. Supponiamo ora un sistema mobile di correnti che formino un circuito piegato due volte ad angolo retto e terminato all'asse OO' di una corrente circolare fissa (*fig.* XXIX). Le correnti orizzontali tendono in questo sistema a prendere de' movimenti contrarii di rotazione (§. 9); ma come l'inferiore è più vicina alla circolare, solo quest' inferiore dovrà muoversi se la circolare non è a gran distanza. Se non che la verticale per l'azione della corrente fissa tende a rotare contrariamente all' inferiore orizzontale (§. 20): si vuol dunque conoscere se vi avrà equilibrio o movimento di rotazione in uno de' due sensi. Il calcolo e l'esperienza dimostra che se la corrente fissa non è a gran distanza, il sistema non prende alcun moto di rotazione intorno all'asse della circolare fissa in tutte le posizioni possibili, e che quest'equi-

librio ha ugualmente luogo comunque sieno le piegature e sinuosità della corrente mobile purchè questa abbia le estremità nell'asse di rotazione. Se il circuito mobile fosse chiuso e simmetrico intorno all'asse di rotazione, la corrente circolare fissa essendo senz'azione sopra ciascuna metà del conduttor mobile, lo sarebbe ugualmente sopra il tutto insieme. Quindi si può stabilire la seguente proposizione: « Una corrente circolare fissa, che non sia a gran distanza, non cagiona in qualunque siasi conduttor mobile movimento alcuno di rotazione intorno al suo asse toccante in due punti questo conduttore. » Per l'esperimento si adoperano il conduttore (*fig.* 12) fissato come si è detto nel §. precedente e gli altri mobili (*fig.* 4. 5. 6.) sospesi alle coppe x', y' (*fig.* 1.). Difficilmente però nella macchina si ottiene la condizion necessaria, cioè che l'asse della spirale (*fig.* 12) coincida coll'asse di rotazione verticale che passa per le coppe x', y': e quindi il sistema mobile non è in equilibrio. L'esperienza però non è meno concludente fatta in questo modo: poichè non si produce mai un movimento di rotazione sempre nel medesimo senso, come dovrebbe essere se non vi avesse equilibrio; ma solamente si osserva una tendenza nel conduttor mobile a prendere una posizione fissa di equilibrio più o meno grande, secondo che le coppe x', y' sono fuori dell'asse. Si conosce dunque che di fatti vi avrebbe equilibrio, se la condizione fosse perfettamente adempiuta con la perfezion della macchina.

Se la corrente fissa fosse a gran distanza, dovendosi prendere come uguale la sua azione sopra le orizzontali, queste sarebbero in equilibrio ove abbiano direzioni contrarie (§. 9); ma non già le verticali, se pure non sieno dirette in contrario senso fra di loro (§. 21, 24).

Def. Si dice *solenoide* un sistema di correnti circolari, tutte dirette nel medesimo senso, i di cui piani sono normali ad una linea data qualunque, che contiene i centri delle correnti e serve come di asse al sistema. Se quest' asse è una linea retta e le correnti sono di ugual diametro, questo sistema appellasi *cilindro elettro-dinamico*. Si suol adoperare invece un' elice continua, cioè un filo di rame coperto di seta e piegato a spirale, facendo tornar questo filo dall' ultima spira all' altro estremo in linea retta secondo l' asse dell' elice.

Cilindri elettro-dinamici.

26. Un' elice così costrutta, allorchè in essa corre l'elettrico, opera come un cilindro elettro-dinamico. Imperciocchè senza turbar niente l' effetto, alla corrente di ciascun elemento dell'elice si possono sempre sostituir altre due (§. 2) ad angolo retto, una rettilinea, parallela all'asse e uguale al passo dell' elice, l' altra circolare che sia normale all' asse, terminata all' estremità dell' elemento e che abbia per raggio quello del cilindro a cui è iscritta l'elice. Ma la somma de'passi dell'elice è uguale all'asse. Questa spirale adunque corsa dall'elettrico opera come una serie di correnti circolari che sieno parallele fra di loro e normali all'asse, e come una corrente rettilinea, uguale in lunghezza e parallela all'asse del cilindro; e però se si distrugga l'effetto di questa corrente rettilinea, il tutto si ridurrà ad una serie di correnti circolari dirette tutte nel medesimo senso e normali ad un asse rettilineo in cui si trovano i loro centri, ossia il sistema si ridurrà ad un cilindro elettro-dinamico. Ora questo si ottiene facendo tornare il filo nell'asse in contraria direzione (§. 1). Un' elice dunque costrutta nel modo indicato, quando è corsa dall' elettrico, opera come un cilindro elettro-dinamico. Forse per una tal proprietà quest' elice è stata chiamata da alcuni autori cilindro elettro-dinamico.

27. Un cilindro elettro-dinamico, mobile intorno ad un asse verticale che passa pel suo centro di gravità, per l'azione di una corrente orizzontale ed indefinita che non lo taglia, sarà diretto in modo, che l'elettricità nella parte più vicina de'suoi circoli debba correre nella stessa direzione ed in piani paralleli all'indefinita.

La ragione è chiara ed è una conseguenza di quanto abbiamo detto al §. 22. Quindi l' asse del cilindro elettro-dinamico trovasi nella posizione fissa di equilibrio in un piano normale all'indefinita. Per l'esperimento si adopera il conduttor (*fig.* 3) fissato come nella prima esperienza, e l'altro (*fig.* 18) che rappresenta un cilindro elettro-dinamico e si sospende alle coppe x', y' (*fig.* 1). Se il cilindro elettro-dinamico è fisso, e mobile intorno ad un' asse verticale l'indefinita, questa dovrà prendere la medesima posizione fissa di equilibrio rispetto al cilindro che abbiam indicato al §. 23, 5.° nelle stesse condizioni quivi esposte.

28. Due cilindri elettro-dinamici, l' uno fisso l' altro mobile, animati dalla stessa corrente si attraggono, avvicinandosi in guisa che il primo si continui col secondo, e si respingono allora quando s' inverta la direzione. Ciò avviene, perchè nella prima disposizione de' due sistemi le correnti sono dirette in entrambi nel medesimo senso, e in senso contrario nella seconda: e però se prima vi doveva essere attrazione (§. 1), vi deve esser dipoi ripulsione fra'medesimi. I due cilindri vengono rappresentati dalle *fig.* 18 e 19 e facilmente s'intende il modo di adoperarli.

29. L'azione di questi due cilindri elettro-dinamici situati in modo che i loro assi sieno sopra una medesima linea retta, si dirige nel senso di questa linea. Ciò facilmente s'intende per ragione della simmetria della fi-

gura: e perciò le azioni normali di tutti i circoli avranno una risultante diretta secondo l'asse, e che si può anche concepire applicata all' estremo del medesimo.

30. Una corrente terminata mobile intorno all' asse di un cilindro elettro-dinamico prenderà un movimento continuo di rotazione secondo le leggi già stabilite a' §§. 9, 10, 12, 20, 21 nelle stesse condizioni quivi indicate. È chiaro mentre il tutto si riduce ad azioni fra correnti circolari e terminate normali o parallele all' asse delle circolari. Solo si avverta che avendovi ne'cilindri elettro-dinamici un sistema di correnti circolari, l'avvicinarsi o il dilungarsi di una corrente che traversi un conduttor mobile intorno al loro asse, s' intende rispetto alla base di questi cilindri. Se il cilindro elettro-dinamico fosse mobile intorno al suo asse e fissa la terminata, il cilindro dovrebbe rotare per l' stessa ragione intorno al medesimo, e il senso della rotazione si potrà definire da quanto si è detto §. 13, 20.

Ora facilmente s'intende la ragione dell'equilibrio nel conduttore *fig.* 21 (§. 2). Le due eliche *cd*, *de* del medesimo agiscono come altrettanti cilindri elettro-dinamici (§. 26) e l'azione del conduttor fisso *op* o *mn* (*fig.* 9) sopra di *cd*, e di *MN* (*fig.* 3) sopra di *de* tende a far rotare (§. 20) queste parti del sistema mobile intorno agli assi delle rispettive eliche, intorno a cui non sono esse volubili. Non concepiranno adunque alcun movimento per l'azione di quei conduttori fissi.

Nota. De' circuiti chiusi abbiam solo considerato il circolare: ma facilmente s'intende che gli altri, come il quadrato, l' ellittico ecc. debbono presentare fenomeni simiglianti a quelli che offrono i circolari ed essere soggetti alle medesime leggi.

SEZIONE II.

Azione del globo terrestre sopra i conduttori voltaici

31. La legge fondamentale di questo trattato è che « il globo terrestre agisce sopra i conduttori voltaici come se avesse correnti elettriche le quali e lo cingessero circolando da oriente ad occidente e fossero normali al meridiano magnetico, e tanto più vigorose, quanto meglio accostantisi all'equatore magnetico ». Quindi è che della sola situata in quest' equatore si fa conto come della più energica, la quale ancor si suppone messa a gran distanza dalla superficie della terra. Le dimensioni de'conduttori voltaici troppo piccole rispetto all'ampiezza della corrente terrestre e la piccola curvatura di questa corrente permettono di considerarla come fosse una corrente rettilinea ed orizzontale che sopra di quelli agisca ; e però da ciò che finora si è detto agevol cosa sarà definirne gli effetti. Qual probabile fondamento per avventura abbia questa legge stabilita dal Ch. Ampère, lo vedremo nel §. seguente in parte e parte al §. 40.

32. Per l'azione della terra una corrente orizzontale, movevole intorno ad un asse verticale che passa per uno dei suoi estremi, avrà un movimento di rotazione uni-

forme e continuo dall' oriente all' occidente pel mezzodì se all' asse si avvicina, e dall' occidente all' oriente pel mezzodì se dall' asse si dilunga.

È chiaro pel §. 6. cor., e l' uniformità della rotazione proviene dalla gran distanza della corrente terrestre (§. 5.) posta nell' equatore magnetico ch' è al sud dell' Europa. Per l' esperimento si fa uso dei conduttori (*fig.* 12, 14) avvertendo di non mettere in azione la spirale e di aprire sì in questa che nelle sperienze che seguono la communicazione fra *A* e *B* (*fig.* 1.) col mezzo del conduttor *Q*. Inclinando la bascola *k* a destra, la corrente nel conduttor mobile tuffato nell'acqua acidula si allontana dall'asse di rotazione e va in senso opposto inclinando *k* a sinistra. Si fa poi manifesto non provenire in questo esperimento la rotazione dalle correnti dell'acqua acidula, poichè la rotazione che in esso si osserva cangia di senso coll'inversione de'roofori o della bascola: il contrario avviene quando la rotazione è determinata dalle correnti dell'acqua acidula (§. 13), come nel conduttor (*fig.* 15). Nè anche deriva dall' azione di qualche parte fissa della macchina; poichè se così fosse, non dovrebbe cangiare di senso coll'inversion de'roofori (§. 3). Lo stesso s'intenda degli esperimenti che seguono. Conviene dunque cercar la causa di questi fenomeni fuori della machina, e fuori di questa non vi ha che la corrente terrestre che esistendo è sufficientissima causa de' medesimi. Della probabilità di questa corrente parleremo nella terza sezione.

33. La stessa azion della terra fa incamminare una corrente verticale, che si gira intorno ad un asse normale all' orizzonte, all' *O.* quando ascende, ed all'*E.* quando discende. Conseguita da quanto si è detto al §. 17. Per l' esperimento si adopera il conduttor (*fig.* 17) sospeso

alle coppe x', y': in cui l'azion della terra sopra le braccia *ab*, *cd* essendo uguale e di segno contrario non avrà alcun effetto. Non così però avviene nel braccio verticale *cb* in cui si dirige la corrente in contrario senso col l'inclinar la bascola *k* or a destra or a sinistra, e si vede prendere le posizioni di equilibrio stabile indicate nel teorema.

34. Una curva piana che formi un circuito chiuso, mobile intorno ad un asse verticale, quando è corsa dalla corrente elettrica, si dirige per l'influsso del globo terrestre in un piano normale al meridiano magnetico e in modo che la sua corrente nella parte inferiore dall'*E.* all'*O.* sia rivolta.

È evidente per ciò che si è dlmostrato al §. 23, 3.° Il conduttor mobile che per l'esperimento si adopera è quello della *fig.* 16 sospeso alle coppe x', y'. Può ancora adoperarsi l'anello gallegiante di De la Rive che pesca nell'acqua acidula. Ma per la gran resistenza che prova questo gallegiante nel conduttor umido, per cui non tanto ubbidisce all'azion della terra, si usa piuttosto un grande anello di tre pollici di diametro, sospeso ad una squadra e in modo che il suo elemento voltaico peschi liberamente nell'acqua acidula (le due laminette che costituiscono l'elemento non devono toccarsi insieme, ma essere un tantino l'una dall'altra discosta). Questo modo di sospensione congiunto alla grandezza dell'anello fa sì che tutto il sistema obbedisca prontamente all'azione del globo, disponendosi come si è enunciato nel teorema. Simiglianti conduttori in cui sono moltiplicati i fili che sono soggetti all'influenza della terra, si adoperano per rendere più sensibile negli effetti l'azione terrestre.

35. Se il conduttor curvilineo di cui abbiamo parlato

è mobile intorno ad un asse parallelo alla corrente terrestre, risguardando questo conduttore come abbiamo fatto al §. 22, l'azione della medesima sopra le verticali sarà nulla, poichè esse tendono a rotare intorno ad un asse verticale intorno a cui non è volubile il conduttore; ma non già è nulla sopra le orizontali che sono mobili intorno all'asse del sistema. Imperciocchè la corrente nel conduttore scende da un lato e sale dall' altro; ed essendo perciò nelle due metà superiore ed inferiore diretta in senso opposto, necessariamente in una di esse sarà nel senso della corrente terrestre da *E.* ad *O.* e nell' altra in senso contrario. Da ciò segue che una metà sarà attratta e perciò avvicinandosi dovrà portarsi, se non v'è, dalla parte inferiore dell' asse, e l' altra ripulsa se ne allontanerà mettendosi dalla parte superiore, e così il sistema roterà alquanto. Pervenuto però in un piano che passi per l'indefinita rettilinea quale prendiamo essere la corrente terrestre (§. 31), avrà una posizione fissa di equilibrio. Imperochè allora le azioni della terra sopra entrambe le metà giacendo tutte in questo piano passeranno per l'asse, e perciò saranno distrutte. Quindi è che nell'equatore magnetico il piano di questo conduttore sarà normale all' orizonte, fuora di esso equatore il sistema mobile s' inclinerà secondo un piano che passa per la corrente terrestre considerata sempre come un' indefinita rettilinea, sollevandosi la parte inferiore attratta verso l'equatore magnetico ed abbassandosi la superiore repulsa verso il polo *N.* nel nostro emisfero e verso il polo *S.* nell' altro.

36. Tutti quei sistemi di correnti, che sono in equilibrio sotto l' azione di una corrente indefinita fissa che sia messa a gran distanza, sono anche in equilibrio sotto

l' azione della terra. La ragione è manifesta , poichè la corrente terrestre può considerarsi come indefinita fissa e situata a gran distanza da'sistemi delle terminate, sopra i quali agisca, e però sarà nulla la sua azione sopra di essi: questi sistemi di correnti si chiamano *astatici*. Quindi si trae il metodo di costruire i conduttori astatici, quando si vuol rimuovere da'medesimi l'influenza della terra: si compongon di parti simili percorse in sensi contrari della corrente voltaica e poste a diverse distanze fra di loro, come sono per esempio i conduttori (*fig.* 4, 5, 6.); la quale diversità di distanza non induce varietà di effetto in quanto all'azione terrestre per le gran dimensioni del globo e lontananza della corrente equatoriale, per cui piccole differenze di distanze sono inestimabili.

37. I circoli di un cilindro elettro-dinamico mobile intorno ad un asse verticale che passa pel suo centro di gravità saranno indiritte per la forza della corrente terrestre normalmente al meridiano magnetico, e però nel loro equilibrio stabile saranno paralleli alla corrente del globo e corsi dall' elettrico nella parte inferiore in uno stesso senso dall'E. all' O.

È chiaro per quanto abbiamo detto al §. 27. Quindi l'asse di questo cilindro elettro-dinamico che sia sotto l' azion della terra, nella sua posizione fissa di equilibrio giace nella direzione del detto meridiano, e quando il cilindro corso dall' elettrico sia sospeso come si è posto nel teorema, quest'asse è ancor normale ad un piano verticale che passa per l'equatore magnetico. Per l'esperimento si sospende alle coppe x', y' il cilindro elettro-dinamico (*fig.* 18) aprendo la communicazione fra A e B per mezzo del conduttore Q. Allora si vedranno gli estremi del cilindro dirigersi come quelli dell' ago nel declinatorio:

possono dunque questi appellarsi ancor essi uno polo Nord, l'altro polo Sud.

38. Giova quì di notare 1.° che tra i poli di due cilindri elettro-dinamici, o di una calamita e d'un cilindro elettro-dinamico, si osservano attrazioni e ripulsioni come fra quelli di due calamite. 2.° Ponendo verticalmente col suo asse un cilindro elettro-dinamico, se il polo *N.* è al di sopra, la corrente andrà in esso da sinistra a destra (*fig.* XXXI); e da destra a sinistra nel polo *S.* se questo è il superiore; chiamando polo *N.* quello che si dirige verso il *N.* della terra e polo *S.* l'opposto.

39. Potrebbe il cilindro elettro-dinamico esser mobile intorno ad un asse di rotazione orizzontale che passi pel suo centro di gravità. In questa supposizione un cilindro elettro-dinamico posto col suo asse nel meridiano magnetico per l'azione della corrente terrestre deve inclinarsi col suo polo *N.* nell'emisfero boreale, e col polo sud nell'australe fino a che la risultante dell' azione terrestre non passi per asse di rotazione fisso : ma nell' equatore magnetico non vi sarà alcuna inclinazione (§. 35).

Da questi tre ultimi §§. si rileva apertamente un'identità di fenomeni che presentano le calamite e i cilindri elettro-dinamici, comportandosi le une come gli altri; la quale identità unita al metodo di magnetizzare del ch. Arago non solo permette di poter sostituire i secondi alle prime nella considerazion de' fenomeni magnetici, ma forma il più sodo fondamento del principio Amperiano intorno alle calamite, che verremo ad esporre brevemente nella sezione che segue.

SEZIONE III.

Della scambievole azione delle correnti elettriche e delle calamite.

40. I fenomeni che seguono, sono fra i più leggiadri che comprende l'elettro-dinamica. Nè meno elegante è la maniera di trattarli scientificamente indicata dal ch. Ampère, la quale è considerare una calamita come fosse un fascetto di cilindri elettro-dinamici (1) di un diametro infinitesimo. A comprenderne la ragione oltre a ciò che in fine della precedente sezione abbiamo detto, convien avvertire che i picciolissimi frammenti di una calamita presentano gli stessi fenomeni che l'intera. Dunque ancor essi si possono considerare come tanti cilindri elettro-dinamici e perciò l'intera calamita si può supporre, essere come un fascetto di essi. Da quest'acconcia supposizione partono tutt'i fenomeni magnetici, de'quali e si rende vaghissima ragione e con istretto vincolo a' fenomeni elettrici si annodano. Le correnti di questi circuiti elementari, le quali sieno contenute nel perimetro di una sezione normale all'asse della calamita possono essere

(1) Pouillet elem. di fis. sperim. lib. 3. §. 251, Pianciani elem. di fis. chim. lib. 4. c. 19. §. 148.

rappresentate nella direzione ed energia da una sola della forma del perimetro, come si vede nella *fig.* XXXII per la sezione di una calamita cilindrica; ed al sistema di tutte le superficiali può sostituirsi intorno al medesimo asse un sistema di correnti chiuse del perimetro delle sezioni normali all' asse e giacenti ne' piani di queste sezioni. Cosi al sistema delle correnti superficiali di una calamita cilindrica può sostituirsi quello di un cilindro elettro-dinamico dello stesso diametro. Questo solo sistema ci basterà considerare nel diffinir l' effetto della scambievole azione fra le correnti elettriche e le calamite. Imperciocchè essendo queste correnti molecolari, che imaginiamo si nell' interno che nell' esterna superficie delle calamite, non solo similmente disposte ma ancora dirette tutte nel medesimo senso; agiranno le interne come quelle della superficie e saranno perciò soggètte alle medesime leggi e considerazioni.

La terra comportandosi come una gran calamita, possiamo noi concepire in essa simili correnti e per la figura della medesima sostituire nella considerazion degli effetti al sistema di queste correnti un solenoide avente la figura di un globo la di cui parte media più elevata determini la posizione dell' equatore magnetico, e formi quella corrente della quale abbiam parlato nel principio della 2. sezione. A questa corrente sarebbe allora dovuto che i circuiti molecolari, i quali si attribuiscono a' corpi capaci di magnetismo, prendano una stessa direzione e in certo modo la corrente terrestre li polarizzi. Quest'idea di polarizzazione nel concepire il magnetismo de' corpi fu introdotta la prima volta dal Ch. Prof. Pianciani (1)

(1) Esper. e congett. sulla forz. magn. atti della soc. ital. tom. XXII. part. fis., clem. di fis. chim. lib. 4. §. 292.

e mi sembra assai acconcia a dare ragione di varii fenomeni magnetici. Al mio scopo non appartiene entrare più diffusamente in questo argomento; però basti l'averlo accennato, ritornando senza più dilungarmi in altro a ciò ch'è stato proposto di trattare in questa sezione.

41. Un ago di declinazione deve la sua natural posizione di equilibrio alla forza della corrente terrestre: cui deve ancora il suo inclinar l'uno dei suoi poli all'orizonte l'ago d'inclinazione posto fuori dell'equatore magnetico. Nella supposizione fatta intorno alle calamite, quanto si è detto, segue da'§§. 37, 39. Quindi le correnti che in lui imaginiamo, sono dirette da *E.* ad *O.* nella parte inferiore, e da *O.* ad *E.* nella superiore, quando è diretto co'suoi poli a quelli della terra.

42. L'asse di un ago di declinazione per la forza di una corrente indefinita, fissa e situata parallelamente o sopra o sotto al medesimo, tende a porsi normale al conduttore immobile, e in modo che le correnti elettriche in entrambi sien della stessa direzione nelle parti più vicine. Lo stesso farà un ago d'inclinazione per l'azione di una corrente indefinita orizontale e ferma che sia in un piano normale all'asse di rotazione del medesimo.

È il primo un corollario del §. 22, 27: e supponendo un osservatore disteso sul conduttore fisso in modo, che la corrente gli vada dai piedi al capo e sia rivolto verso l'ago di declinazione, la deviazione che questo prova è tale, che il suo polo *N.* (intendiamo per polo *N.* dell'ago quello che si rivolge al *N.* della terra) è sempre a sinistra dell'osservatore. Per l'esperimento si adoprano il conduttore (*fig.* 3) come nelle sperienze al §. 1. ed un ago astatico, cioè composto di due aghi ugualmente calamitati (*fig.* 22.) fissi in direzione diametralmente op-

posta, ch'è uno de' modi per cui si viene a distruggere l'effetto dell' azion della terza sopra i medesimi. Questo sistema sospeso a Ɛ (*fig.* 1) e situato al di sopra o al di sotto di *MN* a piccola distanza prenderà una direzione normale ad *MN* e secondo vuole il teorema. Per la direzione della corrente nel conduttor fisso si usa la bascola *K* e il conduttor *q*. Se l'ago non fosse astatico, l'azion della terra turberebbe in parte l'effetto non adoperando correnti voltaiche assai energiche. Per quello poi che risguarda il secondo, quanto si è enunciato nel teorema manifestamente segue da ciò che al §. 22. si è dimostrato.

43. Quindi 1.° se il conduttore fisso è posto sopra l'ago di declinazione parallelamente al suo asse, il polo *N*. dell'ago devia all'*E*. ove la corrente parta dal *N*. nel conduttor fisso, ed all'*O*. quando viene dal *S*. 2.° Se pongasi il conduttore fisso normale all'asse dell'ago, devierà questo con più impeto verso *O*. tendendo eziandio a mutare la natia sua direzione, allorchè dall'*E*. viene la corrente; e venendo questa dall'*O*. l'ago resterà senza movimento. È facile assegnar di tutto ciò la ragione. Imperciocchè nella supposizione fatta, quando l'ago di declinazione è nella sua natural posizione, cioè co'suoi poli diretti a quei della terra, le correnti che in lui imaginiamo, nella parte superiore sono dirette da *O*. ad *E*. per ciò se la corrente fissa indefinita è sopra l'ago, la sua azione tenderà a far rotare il medesimo, finchè le correnti nella parte superiore dell'ago sieno dirette nel medesimo senso (§. 27). Si vedrà dunque l'*O*. dell'ago avvicinarsi al *N*. e però la calamita deviare ad *E*. se la corrente fissa viene dal *N*. e avvicinarsi al *S*. deviando la calamita all'*O*., se parte la corrente dal *S*. Si vedrà ancora quando la cor-

rente è normale all' asse dell' ago e viene dall' *E*. il punto *O*. dell'ago per l'azione della medesima essere spinto all' *E*: ma se la corrente fissa è diretta da *O*. ad *E*. l'ago rimane immobile, poichè le correnti sì nella parte superiore dell'ago, che nel conduttor fisso hanno la medesima direzione. Il contrario avviene se il conduttore è sotto l'ago, e dalle cose già dette ben se n'intende la ragione. 3.° Finalmente se il conduttor fisso pongasi all'*E*. dell'ago alla stessa altezza e parallelo al medesimo; l'ago non declinerà ma inchinerassi in un piano verticale o col polo *S*. o col *N*. secondo che la corrente nel conduttore è diretta dal *S*. al *N*. ovvero dal *N*. al *S*. Ciò ancora avviene per quanto abbiam detto al §. 22. Imperocchè la corrente fissa tende a far rotare il sistema mobile delle correnti dell'ago intorno ad un asse orizzontale che taglia normalmente la sua direzione, per ridurlo in maniera che queste correnti nelle parti più vicine al conduttor fisso sieno dirette nel medesimo senso della corrente indefinita. Pel modo però di sospensione dell'ago, questo potrà solamente inclinarsi e di fatto s'inchinerà col polo *S*. quando la corrente fissa all'*E*. viene dal *S*. e col polo *N*. se il contrario. Mettendosi all'*O*. del ago la corrente indefinita, dovrà avvenire l'opposto.

E questo è il famigerato sperimento di Oersted cagione delle leggiadre invenzioni di Ampère, Arago, Savary, Biot, Nobili e di altri non pochi, per la sagacità de'quali questo nuovo rampollo di fisica appena nato è venuto a pianta feracissima di frutti.

44. Un conduttor rettilineo mobile ed orizzontale per l'efficacia di una calamita fissa situata nello stesso modo sopra o sotto, com'era il conduttore nelle sperienze di Oersted, acquisterà tal direzione, che il conduttor mo-

bile formi angolo retto coll' asse della calamita fissa ed in modo che le correnti di entrambi sien della stessa direzione nelle parti più vicine.

Questa proposizione è l'inversa della precedente e segue dal §. 23. 5.° Per l'esperimento poi, stabilita la communicazione fra A e B (*fig.* 1) per mezzo di Q si sospende il conduttore (*fig.* 6.) alle coppe x', y'; quindi si presenta una verga calamitata al di sopra o al di sotto della porzione orizontale *de* del condultor mobile, in maniera che l' asse della calamita sia presso a poco parallelo a questa porzione. Ciò fatto, si vede subito *de* porsi ad angolo retto coll' asse della calamita e in modo, che le correnti in entrambe sieno della stessa direzione nelle parti più vicine. Se l' asse della calamita si pone normale a *de*, questa corrente rimarrà ferma, se è diretta nello stesso senso delle correnti della calamita nelle parti vicine; se no, si vedrà rotare fino a ridursi nel medesimo senso le correnti.

45. Un conduttore rettilineo che può avvicinarsi o allontanarsi da un cilindro magnetico, gli si avvicina, quando la sua corrente nella parte meno discosta dalla calamita sia della stessa direzione di quelle, che imaginiamo nel cilindro magnetico, e se ne allontana, ove sia in contrario senso diretta.

La ragione si toglie dal §. 1. e però nella prima condizione si attrarranno, e si respingeranno nell'altra. A provar questo stesso con esperimenti, si presenta uno de'lati di una verga calamitata alla porzione verticale *bc* o *fg*, del conduttore (*fig.* 5.) sospeso alle coppe x', y', di maniera che l'asse della calamita sia orizontale e parallelo al piano *bcgf*. Stabilita la communicazione fra A e B come nel §. precedente e regolando il corso della cor-

rente nel conduttor mobile col mezzo della bascola k, si vedrà allora questa porzione attratta o ripulsa secondo vuole il teorema. Si può anche adoperare il molinello di Barlow. Questo si compone di due parti e di un' appendice. Le parti sono 1.° un zoccoletto di legno che ha due vaschette a, b: 2.° una rotella metallica di rame o di ottone mobile in mezzo alle branche di una squadra che la sostiene sopra la vaschetta a. L' appendice consiste in una piccola calamita a ferro di cavallo montata sopra un altro zoccoletto. Per far girare la rotella si adopera nel modo seguente. Si riempie di mercurio la vaschetta a fino all' altezza della rotella che il mercurio dee toccare appena : si riempie ancora di mercurio l' altro incavo b dov' è fisso il piede della squadra, e poi si presenta l'appendice alla rotella in modo che quest'ultima possa liberamente girare fra le branche della calamita, i cui poli deggiono passare un poco al di là dal luogo in cui la rotella comunica col mercurio. Se il rooforo positivo della pila pesca nella vaschetta b e il negativo nell' altra ; la corrente sarà allora discendente nella rotella. Similmente sono discendenti quelle che imaginiamo nella calamita in quella parte che risguarda la ruota e sono le più vicine , se il suo polo Nord è a sinistra della squadra. Vi sarà dunque attrazione che pel modo di sospensione della rotella, la farà girare dalla destra alla sinistra di chi guarda lateralmente l' apparecchio dalla parte del polo *S.* della calamita. Invertendo i roofori, si inverte ancora il senso della rotazione. Il Prof. Van-der-Heyden adopera per quest' esperimento un'altro conduttore rappresentato dalla *fig.* 23. Le punte x, y del medesimo si sospendano alle coppe segnate dalle stesse lettere nella *fig.* 1. e si presenti normalmente al piano del conduttore

il polo *N.* di una verga calamitata agli spazii *abcd*, *cdef*, *efgh*. Aperta la comunicazione colla pila per mezzo del conduttore *Q* e della bascola *k* inclinata a destra, la corrente seguirà il giro *a b c d e f*....e però sarà nel medesimo senso di quelle della calamita nel primo e terzo, ma in contraria direzione nel secondo. Si vedranno questo ripulso, e quelli attratti. Inclinando a sinistra la bascola o invertendo la calamita si vedranno ripulsi quelli che prima erano attratti, e attratto quello che prima era stato ripulso. Il cilindro elettro-dinamico (*fig.* 18.) sostituito alla calamita vi presenta gli stessi fenomeni sopra questo conduttore.

46. Dagli stessi principî si rende ragione dell' esperimento che segue, fatto da De-la Rive. Quest' illustre fisico avvicinando normalmente al suo anello gallegiante che pescava nell' acqua acidula, una verga calamitata lunga 5, o 6 pollici e nella direzione dell' asse del medesimo, lo faceva muovere parallelamente all' asse della calamita. Quando l' anello era attratto, si fermava nel punto medio della verga, e invertendo questa, l' anello era ripulso. In questa esperienza l' attrazione si osserva, quando le correnti nell' anello e nella calamita sono dirette nel medesimo senso. Si ferma poi nel mezzo della verga, perchè in questo punto si riducono ad uguali le due contrarie azioni attrattive, che esercitano sopra l' anello le due braccia della calamita. Finalmente invertendo la calamita o l' anello, le loro correnti sono allora dirette in contrario senso, e perciò vi dovrà essere ripulsione.

47. Il polo di un cilindro magnetico fa girare sempre nel senso della sua corrente un conduttor parallelo al suo asse e mobile intorno al medesimo, se la corrente

del conduttore si dilunga dal polo della calamita, e in senso opposto, se gli si avvicina.

È manifesto da ciò che abbiam detto al §. 30. Fra gli esperimenti che nell' esposto teorema hanno la loro ragione, uno è quello del cilindro girante di Marsh, di cui si parla nelle istituzioni fisico-chimiche del Pianciani (pag. 195. lib. IV. *fig*. 59), nel trattato di elettro-dinamica di Demonferrand §. 78 ecc. alle quali rimetto per la descrizione. In questa macchina l'elettrico da' punti del filo di rame a contatto con lo zinco si comunica a questo metallo, da questo all' acqua acidula in cui sta immerso, e dall' acqua al rame che la contiene. Quindi, salendo pe' fili saldati a questo cilindro si comunica a quelli saldati allo zinco, a cui torna per cominciare di nuovo il corso indicato. Supponiamo questo sistema mobile essere appoggiato al polo *N*. del cilindro magnetico. In questa disposizione le correnti del polo essendo dirette da sinistra a destra (§. 38. 2.°), si vedrà il cilindro di rame rotare nella stessa direzione e quello di zinco in contrario con una velocità assai grande, quando l'elemento voltaico che gira è leggiero, e il rimanente dell' apparecchio è secondo ogni regola. Se il sistema mobile si appoggiasse al polo *S*. del cilindro magnetico, in cui la corrente va da destra a sinistra, si muterebbe il senso delle rotazioni. L'apparecchio pel giro continuo di Faraday mostra lo stesso fenomeno. È desso composto di tre parti principali: la prima è un zoccolo di bosso incavato al di sopra in forma di vaschetta e bucato nel mezzo sin verso il fondo: oltre a questo buco centrale ve ne ha un altro laterale che comunica col primo. La seconda parte è un cilindro ben calamitato sepolto per metà dentro il zoccolo e guernito

alla sua sommità di una piccola coppa. La terza parte consiste nel conduttor mobile, che ha due braccia verticali ed uno orizzontale, che le congiunge, munito di una punta, la quale si tuffa nella coppa posta alla sommità della calamita. Quando si vuole adoperar questa macchina, si comincia dal riempir di mercurio il buco laterale del zoccolo: quindi si pone la punta del conduttor mobile nella coppa del cilindro calamitato, la quale contenga qualche goccia di mercurio: se ne versa di poi tanto nella vaschetta del zoccolo, quanto appena tocchi le punte inferiori del conduttor mobile: finalmente si mette l'apparecchio nel circuito voltaico facendo pescare i roofori di un ampio elemento alla Wollaston di 20 a 24 pollici di superficie l'uno nel mercurio del buco laterale del zoccolo, e l'altro in quello della vaschetta. Al momento in cui si compie il circuito voltaico il conduttor mobile si vede rotare intorno alla calamita secondo quello che abbiam detto nel teorema.

48. Il polo di un cilindro magnetico fa rotare nel senso della sua corrente un conduttore normale alla direzione del suo asse e volubile intorno al medesimo, se l'elettrico nel conduttore si avvicina all' asse e in senso contrario se dall' asse si dilunga.

La ragione si deduce similmente dal §. 30. Nel cilindro girante di Marsh e nell' apparecchio di Faraday la rotazione che tendono a prendere le correnti mobili orizzontali che vi hanno, è nel medesimo senso di quella che prendono le verticali che sole avevam considerate; perciò lo stesso sperimento si appoggia ad entrambi i teoremi. Può aversi la rotazione delle sole orizzontali adoperando il conduttore (*fig.* 14) tuffato nell' acqua acidula del vaso (*fig.* 12). Si pone questo conduttor mobile

nella coppa S e si apre il corso alla corrente elettrica per mezzo del conduttore Q (*fig.* 1.) e della bascola k avvertendo di non mettere in azione la spirale della *fig.* 12. Il polo di una poderosa calamita messa coll' asse nella direzione di cs indurrà nel sistema mobile una rotazione nei sensi esposti nel teorema, secondochè la corrente del conduttore si dilunga dall' asse o se gli avvicina.

49. Una o più correnti che si irraggiano da uno stesso punto, girano attorno il medesimo per l'azione di una calamita fissa. La ragione di questo fenomeno per le cose già dette è manifesta, mentre tutto si riduce all' azione di una corrente circolare fissa, che noi concepiamo nella calamita, sopra di una o più terminate orizzontali, che sieno mobili intorno all' asse della medesima.

Quindi si può render ragione della rotazione del mercurio prodotta dall' azione di una calamita fissa in alcuni apparecchi, come sono i compresi nell' astuccio elettro-magnetico del Cav. Nobili, che si riducono ai seguenti. 1. *Cannoncino calamitato guernito di coppa.* Versato un pò di mercurio nel vuoto della calamita e posta questa goccia nel circuito voltaico per modo, che uno de' roofori la tocchi nel centro e l' altro alla circonferenza : essa prenderà allora un moto di rotazione. 11. *Vaschetta con due fili verticali, isolati da per tutto fuorchè nelle loro punte.* Si riempie di mercurio sì la vaschetta fino a coprir queste punte che le due piccole coppe in cui termiuano al di fuori i due fili verticali, se l'apparecchio è costrutto come quello dell' astuccio : si presenta finalmente il polo di una piccola calamita al centro della vaschetta. Al compiersi del circuito voltaico il mercurio si vede girare al di sopra delle punte dei due fili. Queste rotazioni quantunque molto più de-

bolmente, hanno luogo anche senza l'azione della calamita, se il mercurio della vaschetta sia ben puro e tale che copra appena le punte de'due fili. Allora il fenomeno sembra prodursi dal magnetismo terrestre come ottimamente notò il Nobili. 111. *Vaschetta con due fili orizontali scoperti soltanto nel luogo delle lor punte.* Versato del mercurio nella vaschetta sino all'altezza delle punte, al compiersi del circuito voltaico si veggono immediatamente formarsi sopra del mercurio due correnti contrarie, la direzione delle quali si conserva ben distinta finchè l'azione è puramente elettriea. Ma posto al di sopra il polo di una calamita cominciano nel mercurio i soliti giri elettro-magnetici, fra i quali si perde interamente il corso delle due opposte correnti (Nobili). Questo esperimento non è in sostanza che una modificazione del precedente, e riesce con correnti di una forza discretissima. Per osservare però queste rotazioni prodotte nel mercurio, questo debb'essere di una certa purezza ed è bene spargerne la superficie leggiermente d'un pò di polvere ben fina ed asciutta di minio.

50. Una calamita verticale per l'azione di correnti orizontali ed esterne allontanantisi dalla medesima, gira intorno al suo asse con direzione opposta alla corrente circolare cui noi imaginiamo nella calamita, ed in direzione della sua corrente ove la terminata orizontale le s'avvicina. Lo stesso avviene per l'azione di una corrente verticale che si allontani o s'avvicini al polo di un cilindro magnetico similmente verticale, in direzion parallela all'asse del medesimo. L'apparecchio che si adopera a produrre questo fenomeno è un vaso di cristallo pieno di mercurio, nel quale pesca una piccola calamita cilindrica che vien tenuta verticale da un contrapeso di pla-

tino fissato ad una dell' estremità. Se il polo superiore di questa calamita comunica nel centro con uno dei poli della pila e il mercurio del vaso coll' altro, si vedrà la calamita rotare, come viene enunciato nel teorema. È chiaro esser questo fenomeno una conseguenza di quanto abbiamo detto al §. 30. Il polo superiore porta un incavo, che si empie ancor di mercurio per la comunicazione con la pila in maggiori punti di contatto e con minore attrito; e comunica nel centro con uno de' poli della pila, affinchè le correnti voltaiche convergano all'asse della calamita o da questo radiino (secondochè il polo superiore della calamita comunica col polo negativo o col positivo della pila) che è la condizione espressa ne'§§. 12, 13, 30. L'azione della corrente verticale cospira nell'apparecchio con quella delle orizontali (§. 20).

51. Per avere il moto di traslazione e rotazione insieme della calamita intorno ad una linea parallela al suo asse ed esterna alla sua superficie si adopera lo stesso apparecchio con piccola modificazione. Quel conduttor verticale ch' era immerso colla punta nell' incavo superiore della calamita, ora si tuffa nel centro della superficie del mercurio contenuto nel vaso. Così si stabilisce alla superficie del mercurio un gran numero di correnti che partono dall'asse del vaso per andare alle pareti munite di labro metallico, a contatto col mercurio e comunicante col polo negativo della pila o viceversa. Fra l'asse del vaso, e le pareti pesca verticalmente piccolo cilindro magnetico, che al chiudersi del circuito voltaico comincerà a rotare intorno al conduttor verticale come ad asse. A comprendere la ragion del fenomeno dividiamo in tre parti le correnti che agiscono sopra la calamita. Alcune sono tangenti alla calamita, altre non la incontrano, la

traversano altre. In quanto alle prime sieno *P A*, *P B* (*fig.* XXXIII) due correnti poste simmetricamente intorno al diametro *PFM* e che tocchino nei punti *O*, *O'* il cilindro magnetico la di cui sezione è rappresentata da *F O E M O'* e si supponga il polo *N*. ad esempio nella parte superiore. Considerando le azioni delle correnti sopra le parti più vicine del cilindro magnetico che sole prevalgono, vi sarà (§. 1.) attrazione fra *P A* e le correnti della calamita comprese nella semiperiferia *F O M* e ripulsione fra *P B* e le correnti magnetiche che circolano nella semiperiferia *F O' M*. Queste due azioni per la loro simmetrica posizione intorno *P M* è chiaro essere uguali: sono esse ancor cospiranti a far muovere la calamita dalla banda delle correnti *P A*:.... Imperciocchè le azioni normali che sole influiscono delle due correnti *P A*, *P B* sopra gli elementi delle due semiperiferie *F O M*, *F O' M*, avendo le direzioni de' raggi passeranno tutte pel centro *N* e quindi anche le risultanti delle azioni di ciascheduna di esse, le quali per la uguaglianza e simmetria delle componenti intorno a *P M* saranno ancor esse uguali e simmetricamente poste intorno alla medesima retta. Si rappresentino dunque la risultante delle attrazioni per *N O* e quella delle ripulsioni per *O' N*, la quale per essere cospirante con *N O* a far muovere la calamita dallo stesso lato può rappresentarsi meglio per *N E* presa nel prolungamento di *N O'*. Ora è manifesto pe' principii di statica, che la risultante di *N O*, *N E* avrà la sua origine nel punto *N* e la sua direzione sarà compresa nell' angolo *E N O* delle componenti: si dirigerà dunque ancor essa dalla parte di *P A*, dalla quale sono dirette le sue componenti. Questa risultante di *N O*, *N E* sarà anche normale al diametro *P M*: imperocchè essendo uguali le

azioni di PA, PB la retta Nc che divide per metà l'angolo $O\ N\ E$, rappresenterà pe' medesimi principii di statica la risultante di $N\ O$, $N\ E$ in quanto alla direzione. Abbiamo dippiù per l'uguaglianza de'triangoli PNO, PNO' l'arco $F\ O{=}F\ O'$ e quindi $M\ E = F\ O$. Ora essendo per le cose già dette $Ec = cO$, e per costruzione $F\ M$ diametro; avremo $M\ c = c\ F = 90.°$ Dunque $N\ c$ secondo la quale si dirigge la risultante di $P\ A$, $P\ B$ è normale ad $F\ M$. Allo stesso modo si proverebbe che le correnti le quali non incontrano la calamita, prese due a due simmetricamente intorno $P\ M$ danno una risultante che passa per N, normale ad $P\ M$, diretta verso $P\ A$, e consequentemente secondo $N\ c$. Quanto poi alle correnti che traversano la calamita, si possono ancor queste dividere ciascuna in tre parti: l'una dal punto P alla calamita, la seconda nell'interno della calamita, la terza dalla calamita alle pareti del vaso. La seconda porzione non produce altro effetto tranne le attrazioni e ripulsioni mutue tra le parti solide della calamita, le quali azioni non possono imprimere al cilindro magnetico movimento alcuno. Ma le altre due porzioni prese ancor esse a due a due simmetricamente intorno a $P\ M$, daranno similmente una risultante diretta secondo Nc come si può render manifesto col medesimo ragionomento ch'è stato fatto per le correnti voltaiche tangenti la calamita.

Ciò premesso è facile quindi ricavare la ragion del fenomeno. Supponiamo le correnti $P\ A$, $P\ B$ etc. esser quelle che si hanno al primo chiuder del circuito voltaico. È chiaro che adoperando correnti di tale energia da vincer la resistenza del mezzo la calamita dovrà muoversi secondo $N\ c$: per lo che muterà di sito la retta $P\ M$ e però le nuove correnti, che sopraggiungono nel secondo

istante dell' azione voltaica e sono simmetriche intorno a *P M*, ancor esse saranno diversamente dalle prime collocate. Avremo dunque una nuova risultante ad angolo con *Nc* che col medesimo ragionamento fatto di sopra può dimostrarsi normale a *P M*. Lo stesso avverrà negli altri istanti che si succedono in tutto il tempo in cui il circuito voltaico dura ad essere chiuso. Quindi è manifesto la calamita dover descrivere un poligono d' infiniti lati e di grandezza infinitesima, proporzionali agl' infiniti istanti ne' quali concepiamo succedersi le nuove correnti, durante quel tempo finito in cui vi ha l'azione voltaica. Ora per essere in questo poligono tutt' i lati normali al raggio *PN* nelle diverse posizioni della calamita intorno al punto *P*, può il loro perimetro rappresentare un circolo, e tale di fatti sarà se la corrente è continua. Da ciò è manifesto la calamita dover rotare descrivendo un circolo intorno al rooforo verticale fisso in *P* come ad asse. Finalmente rimane a considerare l'azione di questo rooforo verticale fisso. L' azione della corrente verticale che lo traversa, indurrà nella calamita un moto di rotazione intorno al proprio asse (§. 30), che l'attrito nel mercurio non sempre farà manifesto.

52. Queste due ultime esperienze richieggono una pila assai poderosa, non così le altre. Quella del nostro gabinetto di Napoli, la quale abbiamo usata nelle descritte esperienze, contiene otto grandi elementi e vien messa in azione adoperando per conduttor umido acqua di mare contenente un $\frac{1}{60}$ del suo volume di acido nitrico e altrettanto di solforico. Lo zinco è amalgamato e ciascuna lamina ha 1^{m},325 quadrati circa di superficie, che è bagnata dal conduttor umido: le casse di rame sono alla maniera proposta da Oersted: finalmente sono sta-

bilite per mezzo del mercurio le comunicazioni fra gli elementi voltaici.

53. Le leggi stabilite non comprendono solo le correnti voltaiche ma quelle ancora provenienti da tutt' altra sorgente che dalla pila di Volta e fino le ottenute per induzione. Imperocchè la diversità della loro origine non le rende dissimili di natura la quale ove sia in tutte la medesima, le stesse leggi avrà sempre a seguire nelle sue azioni. Solo la continuità delle correnti voltaiche e la facilità insieme di adoperarle come formano due pregi necessarii talvolta a questi sperimenti, così le faranno sempre essere trascelte a preferenza delle altre, quando si vorrà confermare con esperienze l' esposta teoria.

Fig XXIII

XXVI

Fig VI.

Fig IX

XXXVII